Die mineralischen nährstoffe der pflanze

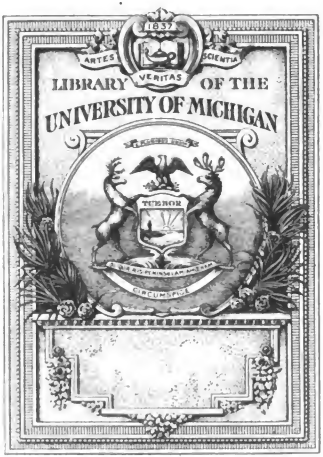
Paul Wilhelm Eduard Vageler

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH IN LEIPZIG

WISSEN UND KÖNNEN

Sammlung von Einzelschriften aus reiner und angewandter Kunst

herausgegeben von



Die bestimmt
und sol Gesamt-
gebiet c sammen-
hängen Schriften
sowohl das nach-
stehend Schriften
und ihr n Namen
und Tit vonnenen
Mitarbe über die
Kreise, in sollen,
und übe n Bücher.
Die The earbeitet
werden. nd leicht
verstänc er sollen
so gesch wenn er
sich aut m Fach-
gebiete Heraus-
geber s liebsten
ist, wen t ist und
zugleich lede und
Phrase chmack.
Herausg ebt, dem
Publiku die jetzt
gebrach

In en" wird eine Besprechung der Bände mit folgendem Satze eingeleitet: „Von den vielen populärwissenschaftlichen Büchern, die in neuerer Zeit täglich erscheinen, verdienen die von Professor Weinstein herausgegebenen Bücher besonderes Interesse. Die Themata, die hier behandelt werden, sind eng umgrenzt, sind von namhaften Autoren mit aller Strenge und Gründlichkeit bearbeitet, von wissenschaftlichem Geiste getragen und in leichtverständlicher Sprache behandelt."

Jeder Band der Sammlung ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich. Die Bände werden nur gebunden ausgegeben. Die Zugehörigkeit zu einer Sammelausgabe ist nur durch die Nummerangabe am Fuße des Rückens erkenntlich.

WISSEN UND KÖNNEN

Band 1:

DIE ENERGIE von Professor Dr. W. OSTWALD. 167 Seiten. Gebunden M. 4.40.

„Münchner Neueste Nachrichten": Erst kürzlich ist an dieser Stelle auf ein ähnliches Werk Ostwalds hingewiesen, in welcher er das Werden einer Wissenschaft schildert. In diesem neuesten Buche nun schildert er in gleich hervorragender Weise das Werden der Energie und des Lebens, das Walten der Energie in allen Lebens- und Umformungserscheinungen; und das mit einer Meisterschaft, in einer Sprache, die bewundernswert ist. Es ist eine Lust, ein solches Buch zu lesen.

Band 2:

DIE ÄLTESTE ENTWICKELUNG DER TELEGRAPHIE UND TELEPHONIE von Dr. RICHARD HENNIG. VIII, 199 Seiten. Mit 61 Abbildungen. Gebunden M. 4.—.

„Zeitschrift für Post und Telegraphie": Der Autor bietet in dem vorliegenden Werke eine Darstellung der Entwicklung der Telegraphie und Telephonie, deren Hauptwert darin liegt, daß hier das historische und kulturgeschichtliche Moment in den Vordergrund gestellt wird. So ist die Arbeit eine schätzenswerte Ergänzung der vorhandenen analogen Werke, die vornehmlich die technische Seite des Gegenstandes behandeln.

Band 3:

VOM LEBEN. Ein Blick in die Wunder des Werdens von MARGARET WARNER MORLEY. Deutsch von MARIE LANDMANN. Autorisierte Übersetzung mit Abbildungen von der Verfasserin und von Robert Forsyth. VI, 109 Seiten. Gebunden M. 3.60.

„Münchner Neueste Nachrichten": Das Buch ist mit echt weiblicher Begeisterung für die Wunder des Lebens geschrieben. Es ist eine gefällige, leichte, naturwissenschaftliche Plauderei in reizvollem, dichterischem Gewand. Allerliebste künstlerische kleine Illustrationen sind dem Text beigegeben. Ein Buch für die Jugend, aber auch für das Alter.

Band 4:

DIE RADIO-TELEGRAPHIE. Gemeinverständlich dargestellt von Ingenieur O. NAIRZ. VIII, 271 Seiten. Mit 154 Abbildungen. Gebunden M. 5.—.

„Zeitschrift für Eisenbahn-Telegraphen-Beamte": Allen denjenigen, welche sich über Wesen, Betriebseigentümlichkeiten und Aussichten der Radiotelegraphie ohne langes Studium in gemeinverständlicher Weise orientieren wollen, können wir dieses Werk empfehlen. Es trägt keine wissenschaftliche Theorie, die nur unter Anwendung eines großen Apparats von Spezialkenntnissen zu geben wäre, sondern begnügt sich mit Erklärungen, die durch Experimente gestützt sind und leicht plausibel erscheinen.

Band 5:

DIE AUTOMOBILTECHNIK von Ingenieur MAX BUCH. VI, 143 Seiten. Mit 150 Abbildungen. Gebunden M. 4.—.

Die Automobiltechnik ist eine unserer jüngsten und interessantesten Errungenschaften. Mit der Ausbreitung des Automobils ist in das gesamte Verkehrswesen ein Umschwung eingetreten, der sich bei allen Verkehrsmitteln und selbst den Eisenbahnen fühlbar macht. In sachgemäßer Anordnung ist hier alles vom Automobil Wissenswerte klar dargestellt. Der Automobilkonstrukteur und der Automobilfahrer finden in dem Werke Aufschluß über alle die Konstruktion, Technik und Behandlung berührende Fragen. Dem Laien aber wird das Buch interessante und bequeme Belehrung bieten.

Digitized by Google

WISSEN UND KÖNNEN

Band 6:

ELEMENTE UND AKKUMULATOREN. Ihre Theorie und Technik von Dr. W. BEIN. VI, 233 Seiten. Mit 98 Abbildungen. Gebunden M. 4.40.

Das Werk zerfällt in zwei Teile. Der erste Teil umfaßt die theoretischen, physikalisch-chemischen Grundlagen, aus denen heraus die Wirksamkeit der chemischen Stromquellen zu verstehen ist. Der zweite — praktische — Teil gibt eine Beschreibung der wichtigsten Typen der Elemente und Akkumulatoren, sowie ihrer Anwendungsart.

Band 7:

DIE MINERALISCHEN NÄHRSTOFFE DER PFLANZE von Dr. P. VAGELER. VIII, 130 Seiten. Gebunden M. 3.—.

Eine Zusammenfassung, in erster Linie bestimmt, das Interesse des Naturfreundes ohne spezielle Fachbildung für die Ernährung der Pflanzen zu wecken, in zweiter Linie auch für den Landwirt und Gärtner als kurze Übersicht über die Ergebnisse der Fachforschung brauchbar, ist in dem vorliegenden Werkchen zu geben versucht worden. Ein zweites Bändchen, welches die „organogenen Elemente der Pflanzensubstanz" behandelt, befindet sich im Druck.

IN VORBEREITUNG

sind folgende Bände, die in rascher Folge erscheinen werden:

Prof. Dr. L. AMBRONN, Göttingen: Fixsterne.
Prof. Dr. L. AMBRONN, Göttingen: Sonnensystem.
Prof. FELIX AUERBACH, Jena: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Tonkunst.
Geh. Oberreg.-Rat VON BUCHKA, Berlin: Menschliche Nahrungs- und Genußmittel.
Privatdozent Dr. FELGENTRAGER, Gestalt und Kraft der Erde.
Geh. Reg.-Rat Prof. W. FOERSTER, Westend: Über Zeitmessung und Zeitregelung.
Dr. E. HENNIG, Charlottenburg: Erdbeben und Erdbebenforschung.
Prof. Dr. LEY, Leipzig: Salze.
Geh. Oberreg.-Rat F. LUSENSKY, Berlin: Deutschlands Außenhandel, Entwicklung und Stellung.
Ing. BENNO MARTINY, Duisburg: Landwirtschaftliche Maschinen.
Ing. O. NAIRZ, Charlottenburg: Kraftübertragung.
Geh. Reg.-Rat Dr. FRITZ PLATO, Berlin: Münz-Maß und Gewicht im Weltverkehr.
Prof. Dr. SCHEEL, Berlin: Hohe und tiefe Temperaturen.
Prof. Dr. SCHEINER, Potsdam: Physik des Weltalls.
Dr. P. SCHWAHN, Direktor der Gesellschaft Urania, Berlin: Auf der Adria bis zum Reich des Odysseus.
Dr. TETENS, Sternwarte Kiel: Samoa und die Samoaner.
Dr. P. VAGELER, Königsberg: Kohlenstoff und Stickstoff als Bausteine des Pflanzenorganismus.
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. WEINSTEIN, Berlin: Die Grundgesetze in der Natur.
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. WEINSTEIN, Berlin: Weltanschauungen.

Digitized by Google

WISSEN UND KÖNNEN

DIE MINERALISCHEN NÄHRSTOFFE DER PFLANZE

VON

DR. P. VAGELER

MIT 3 ABBILDUNGEN

LEIPZIG
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH
1908

Digitized by Google

Science Library
QK
861
.V12

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig.

Digitized by Google

Botany
Harvard
6-10-27
14925

Transf to
Science
3-16-62

Vorwort.

Nachdem eine Zeitlang die bekanntlich als scientia amabilis bezeichnete Botanik in Form eines oft nur trocken registrierenden Sammelns der anmutigen Kinder Floras eine Art Modewissenschaft gewesen war, konnte man in den letzten Jahrzehnten ein Abflauen des Interesses für den Gegenstand bemerken. Kaum daß heute nicht nur der Städter, sondern auch der Landbewohner die Namen der Hauptvertreter der Pflanzenwelt, die ihm im Freien auf Schritt und Tritt begegnen, kennt, von irgendwelchem sichern Wissen über die Gründe der Pflanzengestalten, die Ursachen ihrer Vergesellschaftung, vor allem die Grundlagen ihres Lebens und ihres Wachstums ganz zu schweigen.

Die in neuester Zeit mehr und mehr an Umfang gewinnende biologische Betrachtungsweise auch der Pflanzenwelt, die an Stelle der Katalogisierung toter Dinge, anregende Verfolgung der Lebensprobleme am Leben selbst zu setzen sich bemüht, wird hoffentlich das geschwundene Interesse auch der Laien an der Pflanzenwelt allmählich wieder wachrufen, ja es vielleicht auch für Probleme erwecken, die bisher als die trockensten und reizlosesten der ganzen Lehre vom Pflanzenleben verschrien waren: die Ernährung der Gewächse.

Abnorme Ernährungsweisen: Parasitismus in extremen Formen, Fleischfressen von Pflanzen usw. haben freilich immer auch in weiteren Kreisen von Naturfreunden Beachtung gefunden. Die gewöhnlichen Ernährungsvorgänge dagegen, die normale Aufnahme der den Pflanzenleib zusammensetzenden Elementarbestandteile können sich dieses Vorzuges keineswegs rühmen.

Digitized by Google

Das vorliegende kleine Werkchen will versuchen, dem Leser ein wenn auch nicht erschöpfendes, so doch in den Hauptzügen getreues Bild aller bei der Ernährung der Pflanze in Betracht kommenden Fragen in einer Form zu entrollen, die möglichst den weiten Gesichtskreis, die Beziehung zum Ganzen wahrt, so daß es auch für den Nichtfachmann hoffentlich ohne Langeweile genießbar ist. Andererseits wendet es sich aber auch an den praktischen Pflanzenzüchter, den Landwirt, um ihm, abgesehen von kleinen praktischen Fingerzeigen, in den letzten Kapiteln, die aus Rücksicht auf das allgemeine Interesse auf das Notwendigste beschränkt sind, eine Theorie seines Tuns zu geben.

Im ersten Bändchen sind von den „Nährstoffen der Pflanzen" die feuerfesten Aschenbestandteile: die „mineralischen Nährstoffe der Pflanzen" behandelt, im wesentlichen aus Rücksicht einer klaren Anordnung des Stoffs, während das zweite Bändchen den „organogenen Nährstoffen" gewidmet ist.

Überall ist versucht, den aktuellen Standpunkt, vor allem den Ausblick aufs große Lebensganze zu wahren, wodurch sich das Werkchen vielleicht von der Mehrzahl ähnlicher Genossen unterscheidet. Ob zu seinem Vorteil, darüber zu richten, ist Sache des Lesers.

Königsberg i. Pr., im April 1908.

Dr. Vageler.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung. Tier und Pflanze 1
II. Der Ursprung der Aschenbestandteile der Pflanzen . 7
1. Mineralien und Gesteine 7
2. Die Verwitterung als bodenbildender Faktor 12
3. Die Aufnahme der Mineralstoffe durch die Pflanze und ihre Wanderung im Pflanzenleibe 16
III. Die Aschenbestandteile und ihre Rolle im Pflanzenorganismus 24
1. Die Bestandteile der Pflanzenasche 24
2. Die physiologische Rolle der Aschenbestandteile 32
a) Die Metalle der Pflanzenasche 32
b) Die Metalloide der Pflanzenasche 52
3. Allgemeine Gesetze der Aufnahme und Verwendung der Nährstoffe 64
4. Die formgebende Rolle der Mineralstoffe im Pflanzenorganismus 73
5. Der Einfluß der chemischen Bodeneigenschaften auf die Zusammensetzung der Flora 84
IV. Nutzanwendung der Theorie in der Praxis 89
1. Der Begriff der Düngung. Die Ermittelung des Düngebedürfnisses der Pflanzen und Böden 89
2. Natürliche Düngemittel: Der Stallmist 105
3. Die „künstlichen" Dünger 109
a) Kalkhaltige Düngemittel 109
b) Kalihaltige Düngemittel 115
c) Phosphorsäurehaltige Düngemittel 123
V. Schluß 127

Digitized by Google

Benutzte Literatur.

Mayer: Agrikulturchemie, Heidelberg 1902.
Pfeffer: Pflanzenphysiologie.
Strasburger: Lehrbuch der Botanik.
Francé: Leben der Pflanze.
Kerner: Pflanzenleben.
Warming-Gräbner: Oekologische Pflanzengeographie.
Stutzer: Düngerlehre.

Digitized by Google

I. Einleitung.

Tier und Pflanze.

Verfolgt man die großen Entdeckungen der heutigen Zeit, so läßt sich in allen, oder doch in ihrer erheblichen Mehrzahl, und mögen sie noch so verschiedenen Gebieten der Forschung angehören, ein eigenartiges Ergebnis feststellen. Fast alle diese Entdeckungen zeigen, daß die alte, vielverspottete Weisheit des Volkes, oder besser gesagt, das Volksempfinden in naturwissenschaftlichen Fragen, so seltsam seine Äußerungen sein mögen, ein Körnchen Wahrheit enthält.

Freilich klein, sehr klein ist dieses Wahrheitskörnchen meist, im phantastischen Gewande mittelalterlicher, oft absichtlich mystischer Überlieferung arg entstellt, und doch ist es vorhanden. Um ein naheliegendes Beispiel anzuführen: Wer hätte es vor einigen Jahrzehnten wagen dürfen, den von den alten Alchymisten vertretenen Standpunkt der Verwandelbarkeit aller chemischen Grundstoffe ineinander und der Möglichkeit des „Goldmachens" aus wertlosen Körpern, wie Blei und Zinn, im Ernste zu vertreten, ohne seinen wissenschaftlichen Ruf aufs schwerste zu gefährden. Schien doch die Lehre von der Existenz unwandelbarer Elemente, d. h. chemischer Grundstoffe, durch zahllose Beweise über allen Zweifel erhaben.

Und heute?

Kein Zweifel besteht mehr, daß das wunderbare Radium in Helium zerfällt, d. h. ein Element in ein anderes übergeht, daß verwandte Grundstoffe diese Fähigkeit des Zerfalls teilen, daß es schließlich nur eine Frage der verbesserten experimentellen Methoden sein dürfte, ob es gelingt, die Elemente nach

Digitized by Google

Belieben zu verwandeln: zu „verringern" und zu Gold zu „veredeln". Der Traum der Alchymisten ist schon heute im Prinzip kein Traum mehr!

Oder ein anderer Fall, in dem vielleicht der Volksglaube als eine Art unbewußter statistischer Beobachtung, angestellt im Verlauf von Hunderten von Generationen, sich erklärt: Die Astrologie des Mittelalters behauptete, daß Sternenlauf und Menschenlos miteinander verknüpft seien. So allgemein ausgesprochen konnte es törichter Aberglaube von der Wissenschaft genannt werden, dem höchstens ein gewisser poetischer Wert innewohne. Gleichwohl weist heute die kritische, exakte Forschung nach, daß Einflüsse der Gestirne, wenigstens des der Erde am nächsten stehenden Mondes, auf das Körper- und Seelenleben und damit in gewissem Sinne auf das äußere Geschick der Erdenbewohner allerdings bestehen, und sie bemüht sich, diese Einflüsse nach Naturgesetzen zu erklären.

Und nicht anders ist es mit der Unterscheidung von Tier und Pflanze. Dem Menschen noch der klassischen Zeit galt Tier und Pflanze in gleicher Weise beseelt, wenn auch der Pflanze der feinere Sinn, sowie die Möglichkeit zur Äußerung ihrer Empfindungen versagt sein sollte. Die schönsten Sagen und Märchen des Orients und Okzidents, die alten Mythen vieler Völker, die uns durch den Mund ihrer oft namenlosen Dichter erhalten sind, wissen von den Geistern der Bäume und Blumen zu erzählen, lassen Tier und Pflanze mit begnadeten Menschen verkehren, den Reigen der großen Einheit des Naturganzen durch Beseelung auch der leblosen Natur, der Felsen und Quellen, der Winde und Ströme schließend. Und so tut es, wenn man genau hinsieht, das Volksempfinden, der „Volksaberglaube", noch heute.

Und es ist gut, daß das Volk es tut und Auge und Ohr dem pulsierenden Leben nicht verschließt.

Denn die Zeiten, da die Wissenschaft glaubte, eine säuberliche Trennung von Tier und Pflanze vollziehen zu können, mehr als das, vollziehen zu müssen, sind vorüber.

Den ersten Schlag gegen diese Weisheit vom trockenen Holze führten Wesen jenseits der Grenze der Sichtbarkeit,

Digitized by Google

von allereinfachster Gestalt, nur eine Zelle groß, die Infusorien oder Aufgußtierchen der alten Mikroskopiker. Anfänglich freilich, als man diese Wesen zum ersten Male erblickte, war man mit der Klassifikation sehr schnell bei der Hand. Sie bewegten sich. Bewegen sollte sich nur ein Tier, folglich waren sie eben Tiere, und phantasievolle Forscher wollten alle möglichen tierischen Organe, sogar Genitalien, an diesen Wesen entdecken und haben uns ihre Entdeckungen auch in schönen Zeichnungen überliefert, die an der tierischen Natur der Objekte gar keinen Zweifel lassen.

Aber die verbesserten Hilfsmittel moderner Forschung ließen gar bald eine Revision dieser Ansichten dringend nötig erscheinen. Man erkannte den Charakter der Infusorien als einzellige Organismen, die natürlich als Einzelzellen eigentliche Organe nicht besitzen konnten. Bald fand man auch Anklänge ans Pflanzenreich in der Art der Ernährung vieler dieser Wesen. Die Fähigkeit der Bewegung erschien als Kriterium des Tiers nicht mehr allein maßgebend, da man inzwischen eine Menge von Organismen kennen gelernt hatte, die, obwohl sie unzweifelhafte Pflanzen waren, sich doch selbständig bewegten, munterer oft im Verhältnis als die munterstén Tiere. Und nach einigem Streit zwischen Botanikern und Zoologen, die beide einzelne mikroskopische Organismengruppen für ihre Disziplin in Anspruch nahmen, respektive beide nichts mit ihnen zu tun haben wollten, wurde der Waffenstillstand geschlossen und das Reich der einzelligen Wesen als neutrale Zone anerkannt.

Mit Recht! Denn im Reiche der Protisten haben wir heute noch die gemeinsame Wurzel allen Erdenlebens, aller Tiere und Pflanzen vor uns. Ob es noch heute dieselben Formen sind, die einstmals die warmen Urmeere bevölkerten, als unter ihnen die erste Trennung zwischen den Urvätern der Tiere und denen der Pflanzen sich vollzog: wir wissen es nicht. Wohl aber wissen wir, daß diese Urväter den heutigen Protisten in ihrem Bau *geglichen* haben müssen, daß die erste Differenz zwischen Tier- und Pflanzenstamm unmerklich eingetreten sein muß. Und mehr noch können wir mit gutem Recht

Digitized by Google

vermuten, und rechtfertigen damit wieder in etwas die theoretische Bedingung, daß zum Tiere Bewegung gehört. Für die Ureltern des Tierstammes wurde das Erhalten der freien Beweglichkeit schließlich das ausschlaggebende Moment. Sie vermieden es, wie die Stammeltern der Pflanzen es taten, durch immer stärker werdende Gewöhnung an einen Standort zu früh in spezielle Entwicklungsbahnen sich abdrängen zu lassen. Sie bewahrten sich eine größere Zahl von Entwicklungsmöglichkeiten durch Sicherung ihrer Unabhängigkeit, auf Kosten der anspruchsloseren Pflanzen; hat man doch die Tiere geradezu die Parasiten der Pflanzen genannt!

Daß freilich, wie manche Forscher es wollen, die Pflanze, da sie allein heute in der Lage ist, von anorganischer Nahrung zu leben, der eigentliche Ahne des Tieres sei, dem dieses erst später entstammt, ist ein wohl gar zu sehr auf die heutigen Verhältnisse des irdischen Lebens sich stützender Schluß.

Wir kennen die Zusammensetzung des Urmeeres nicht, das in seinem Schoße das erste Leben erzeugte. Aber wenn es imstande war, Leben überhaupt hervorzubringen, dann war es Leben in primitivster Form, dem eben die Möglichkeit seiner Entstehung auch gleichzeitig die Möglichkeit des Fortbestehens bot, auch ohne daß es anfänglich in irgend einer Richtung differenziert war.

Doch nicht nur gemeinsamer Abstammung sind Tier und Pflanze. Je tiefer das immer mehr sich schärfende Auge der Wissenschaft dringt, desto zahlreicher erweisen sich die Parallelen auch zwischen den hochorganisierten, scheinbar durch unüberbrückbare Klüfte getrennten Tieren und Pflanzen der heutigen Zeit.

Daß auch die höhere Pflanze und manche Mitglieder ihres Stammes, wie die bekannte Mimose, wie viele insektenfangende Pflanzen in hervorragendem Maße die Fähigkeit haben, auf Reize durch rasche Bewegungen zweckmäßig zu reagieren, ist heute längst bekannt. Es scheint sogar die Bewegungsfähigkeit, und zwar die Fähigkeit zu plötzlicher

Digitized by Google

Bewegung — daß alle Pflanzen zu langsamen Bewegungen als Reaktion auf Reize befähigt sind, lehrt täglich die Beobachtung — einzelnen Teilen des Körpers recht vieler Pflanzenarten zuzukommen. Freilich ist nur in kurzen Zeiten ihres Lebens die Pflanze zu schneller Bewegung imstande. Es sei nur erinnert an die Reaktion der Kornblumenblüte auf Berührung.

Nicht genug damit, hat Haberlandt in schönen Untersuchungen das Vorkommen von Sinnesorganen, zur Wahrnehmung namentlich von Lichtempfindungen, bei Pflanzen nachgewiesen. Ja es sind auch im Pflanzenkörper feine Plasmabrücken von Zelle zu Zelle gefunden worden, denen, analog dem tierischen Nervensystem, die Aufgabe der Reiz- und vielleicht Willensimpulsleitung zufallen dürfte.

Die Ermittelung weiterer großer gemeinsamer Züge dieser Richtung im Tier- und Pflanzenreich ist wohl nur eine Frage der Zeit, und so ist es wohl zu verstehen, wenn phantasiebegabte Botaniker, von wirklicher, idealisierender Liebe zu ihren Studienobjekten erfüllt, mit Eifer für die Pflanzenseele sich ins Zeug legen.

Wiederum triumphiert das so oft verhöhnte Volksempfinden, und dieses Mal ist sogar ein gut Teilchen Wahrheit daran, an der Gleichheit und Wesenseinheit von Tier und Pflanze.

Aber nicht nur auf dem Gebiete der eben erörterten Imponderabilien zeigt sich diese Wesenseinheit. Sie zeigt sich auch, und in noch weit schärferer Weise, grob sinnlich auf chemischem Gebiete. Mag man Tier oder Pflanze untersuchen, stets begegnet man denselben Stoffen.

Eiweißstoffe bilden überall die Grundlage der eigentlichen lebenden Substanz, Kohlehydrate dienen hier wie dort dem Kraft- und Stoffwechsel, Fette sind hier wie dort vorwiegend Reservekörper. Selbst das scheinbar nur der Pflanze zukommende Produkt, die Cellulose, findet im Tierreiche vereinzelte Analogien. Wässerige Lösungen der verschiedensten Salze und organischen Stoffe durchströmen Tier- und Pflanzenkörper, den einzelnen Zellen Nahrung zuführend

Digitized by Google

und ihre Stoffwechselprodukte entfernend. Und wenn man den millionenzelligen Wunderbau des Tier- und Pflanzenleibes vernichtet, so gründlich wie es geschehen kann, indem man ihn verbrennt, so bleibt hier wie da ein mineralischer, unverbrennlicher Körperanteil als Asche zurück. Und noch diese Reste lehren die Einheit der gesamten Lebewelt; denn mögen sie von Tier oder Pflanze stammen, mögen sie der Menge nach so verschieden sein, wie nur möglich, mögen die Verhältnisse ihrer Einzelbestandteile in den weitesten Grenzen schwanken: diese Bestandteile sind die gleichen bei Tier und Pflanze!

Und wie sollte es anders sein!

Wohl nehmen Tiere oftmals Sand mit ihrer Nahrung auf, ja, es ist bekannt, daß viele Vögel sich gern ihren Magen mit Steinen füllen, jedenfalls um den Verdauungsprozeß zu fördern. Es ist aber noch keinem eingefallen, dies Verfahren damit begründen zu wollen, daß die Tiere auf diese Weise die ihnen unentbehrlichen Aschenbestandteile des Körpers ihrem Leibe zuführten. Denn wenn dem wirklich so wäre, müßten ja viele Wesen, die die Eigentümlichkeit, Sand oder Steinchen zu sich zu nehmen, nicht haben, keine Asche in ihrem Körper enthalten.

Es handelt sich hier um einen ganz nebensächlichen Vorgang, der mit der Versorgung des Körpers mit Aschenbestandteilen nichts zu tun hat. Dies geschieht vielmehr bei allen Tieren entweder direkt, wenn es ein Pflanzenfresser ist, oder wenn es ein Fleischfresser ist, indirekt, stets und immer durch die Pflanzen. Die Pflanze ist der Weg, auf welchem die Mineralstoffe, von wenigen ausgenommen (z. B. Salz), in den Kreis des Lebens eintreten. Die Pflanze ihrerseits kann die Mineralbestandteile, natürlich von den Ausnahmen der fleischfressenden Pflanzen und den völlig zu Schmarotzern gewordenen Pflanzengruppen abgesehen, nicht durch Verzehren eines anderen Wesens sich verschaffen. Sie ist gezwungen, sie sich auf andere Weise zu erwerben und erst für sich und das Tier nutzbar zu machen.

Digitized by Google

II.
Der Ursprung der Aschenbestandteile der Pflanzen.

1. Mineralien und Gesteine.

Es mutet den Chemiker der Jetztzeit seltsam an, daß jemals Zweifel geherrscht haben können, daß der Lieferant aller Mineralstoffe im Pflanzenleibe der Boden sei, in welchem die Pflanze wurzelt. Enthält doch dieser Boden so ziemlich überall, wenn auch in verschiedener Menge, alle nur irgend erforderlichen Elemente, und mehr als das: er enthält sie von den der Pflanze zur Verfügung stehenden Gebieten, Erdboden und Luftraum, ganz allein.

Dennoch haben diese Zweifel bestanden, und zwar nicht nur unter den wissenschaftlichen Laien. Das Mittelalter mit seinen wesentlich qualitativen Anschauungen auf dem Gebiete der Chemie sah in der Asche der Pflanzen Verbrennungsprodukte der Organismen selbst, in demselben Sinne wie man die „Metallkalke" (Oxyde) als die Verbrennungsprodukte der Metalle auffaßte — ein Vergleich, dessen beide Komponenten uns heute gleich wenig vorstellbar sind. Naturgemäß wurde bei dieser Anschauung, wonach die Aschenbestandteile ja erst im Augenblicke des Verbrennens aus der Pflanzensubstanz entstehen sollten, diesen für das Leben der Pflanzen keinerlei Bedeutung beigelegt.

Keine Bedeutung schreibt ferner den Aschenbestandteilen die Theorie zu, welche sie im Lebensprozeß der Pflanzen in diesen entstehen ließ, eine Anschauung, welche noch im Beginn des neunzehnten Jahrhunderts die herrschende war. Der beste Beweis ist ein Preisausschreiben der Berliner Akademie der Wissenschaften im Jahre 1800 von folgendem Wortlaut:

> „Von welcher Art sind die erdigen Bestandteile, welche man mit Hilfe der chemischen Zergliederung in den verschiedenen Teilen der Getreidearten findet? Treten diese in solche so ein, wie man sie findet, oder werden sie durch die Wirkung der Organe der Vegetation erzeugt?"

Digitized by Google

Die Antwort lautete, den bisher geringen Einfluß der doch bereits verhältnismäßig hoch entwickelten Chemie auf die Physiologie und Biologie dokumentierend, in letzterem Sinne: daß diese Stoffe Erzeugnisse des Lebensprozesses selbst wären.

Demgegenüber bedeutet die Annahme, daß die Mineralstoffe „zufällige Gemengeteile der organischen Gebilde" seien, welche mit dem Wasser aus dem Boden aufgenommen würden, einen ganz entschiedenen Fortschritt der Erkenntnis. Wurde diese Anschauung auch keineswegs der großen Bedeutung der anorganischen Bestandteile der Pflanzen gerecht, so war damit doch die richtige Quelle dieser Stoffe gefunden, wie sie uns der heutige Stand der Wissenschaft kennen lehrt: der Boden.

Was ist nun dieser Boden, der Lieferant der Pflanzennahrung? Einen vagen Begriff dieses Wortes hat jeder, eine strenge Vorstellung verbinden wohl die wenigsten damit. Und es ist schwer, eine allgemein gültige Definition für das Wort Boden zu finden, so schwer, daß selbst unter den Fachgelehrten, den Pedologen, wie das wenig schöne, leider aber mehr und mehr Aufnahme findende Fremdwort lautet, eine Einigkeit heute noch längst nicht erzielt ist und auch wohl noch lange nicht, oder gar nie, erzielt werden wird, solange die Forscher ihre Objekte von verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten.

Sobald es sich nur darum handelt, den Boden als etwas Gegebenes, Gegenwärtiges in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften und seinem Verhalten zur Lebewelt aufzufassen, kommt der von Mitscherlich aufgestellten Definition die meiste Berechtigung zu:

„Boden ist ein Gemenge von mehr oder minder kleinen festen Teilchen, Wasser und Luft, welches, versehen mit den erforderlichen Pflanzennährstoffen, als Träger einer Vegetation dienen kann."

Diese Definition setzt alles voraus, was uns hier interessiert, speziell die Anwesenheit der Pflanzennährstoffe, und gibt damit die Möglichkeit, an ein positives Forschungsobjekt in enger Begrenzung auf seinen gegenwärtigen Zustand heranzutreten.

Digitized by Google

Damit ist uns für den vorliegenden Fall aber nicht gedient. Es kommt nicht darauf an, zu wissen, daß überhaupt Pflanzennährstoffe im Boden vorhanden sind, es kommt darauf an, zu erfahren, inwiefern der Boden der Lieferant der Pflanzennährstoffe sein kann. Nicht, inwiefern er Pflanzenernährer und Standort ist, sondern, wie er es wird.

Dementsprechend nützt uns die obige Definition wenig. Sie berücksichtigt in zu geringem Maße die uns gerade interessierende Genese des Bodens, seine Entstehungsgeschichte. Denn daß unsere Erdoberfläche — daß es sich nur um diese handeln kann, versteht sich von selbst — nicht von vornherein eine Verfassung gehabt hat, die das Leben von Pflanzen ermöglichte, bedarf keiner besonderen Betonung.

Wir müssen uns für unseren Zweck nach einer anderen Definition des Begriffs „Boden" umsehen, welche dieser mehr entstehungsgeschichtlichen Auffassung entspricht und uns Fingerzeige liefert, auf welchem Wege die Erdoberfläche zur Ernährerin der Pflanzenwelt geworden ist. Diese Definition hat meinem Empfinden nach am besten, ohne den üblichen teleologischen Beigeschmack, welchen beizulegen die Sachlage in gewissem Grade verführt, Ramann gegeben, indem er sagt:

„Der Erdboden ist die oberste Verwitterungsschicht der festen Erdrinde."

Damit ist die Frage zurückgeführt auf den letzten der direkten Forschung zugänglichen Grund und gleichzeitig der Weg zum Verständnis des Werdens gewiesen.

Wohl ist auch die feste Erdrinde ihrerseits etwas Gewordenes. Aber ihr Ursprung ist für uns im vorliegenden Falle ohne Interesse. Feste Erdrinde deckt überall, sei es als Land, sei es als Meeresgrund, den Kern unseres Planeten; eine Erdrinde, die zwar auch heute noch Veränderungen unterliegt, aber Veränderungen, die im Laufe von Jahräonen so langsam verlaufen, daß wir kurzlebiges Geschlecht diese Erdrinde als etwas schlechtweg Gegebenes betrachten dürfen. Wir können daher bei Betrachtung ihrer Verwitterungsprodukte, Boden genannt, ohne einen Fehler zu begehen,

Digitized by Google

von der Zusammensetzung des als unveränderlich geltenden Grundmaterials „Erdrinde" ausgehen.

Die letzten Bausteine der festen Erdrinde machen natürlich die Elemente aus, und zwar sind, von einigen wenigen abgesehen, welche man auf der Erde noch nicht gefunden hat, trotzdem man sie durch die Spektralanalyse von Fixsternen und der Sonne schon längst kennt, sämtliche Elemente in der Erdkruste in mehr oder weniger großer Menge vertreten.

Selbstverständlich sind mit Ausnahme weniger Metalle die Elemente nicht frei als solche vorhanden, sondern in gegenseitigen Verbindungen als Mineralien, welche ihrerseits die einzelnen Gesteine zusammensetzen. Die für die Bodenbildung wichtigsten Mineralien sind in kurzer Übersicht die folgenden:

I. Kieselsäure (SiO_2), in reiner Form als Quarz und Bergkristall bekannt und in verschiedenen Mineralien enthalten, von welchen besonders die verschiedenen Feldspate, Leucit, Augit, Hornblende, die zahlreichen Glimmer, Epidot, Turmalin und alle sekundär entstandenen Mineralien: Zeolithe, Chlorit, Glaukonit, Grünerde und Tone zu nennen sind.

II. Phosphorsäure (P_2O_5) kommt frei in der Natur nicht vor und die Phosphate, ihre Verbindungen mit Eisen, Kalk usw. kommen ebenfalls seltener in größerer Masse vor, sind dafür aber allgemein in geringerer Menge verbreitet. Hervorzuheben wäre besonders der Apatit.

III. Schwefelsäure (SO_3) tritt in Verbindung mit Kalk als Anhydrit und Gips in gewaltigen Gebirgsstöcken auf und ist allgemein verbreitet.

IV. Kohlensäure (CO_2 Kohlendioxyd) bildet in Verbindung gleichfalls mit Kalk und auch mit Magnesia als Kalkspat, Magnesit und als Mischmineral Dolomit weit verbreitete Mineralien von hoher Bedeutung für die Bodenzusammensetzung.

V. Fluor- und Chlorverbindungen haben wir in dem weit verbreiteten Flußspat und dem gewöhnlichen Steinsalz vor uns, und schließlich sind

VI. einige Oxyde und Schwefelmetalle, wie Eisenglanz (Roteisenerz), Limonit, Pyrit u. a., von einiger Bedeutung für die Bodenbildung.

Digitized by Google

Je nachdem nun von diesen einzelnen Mineralien Individuen ein und derselben Art oder verschiedener Arten miteinander zu einem Gestein zusammentreten, spricht man von einfachen oder zusammengesetzten Gesteinen. Die primitiven Gesteine, d. h. diejenigen, welche bei Erstarrung der Erdrinde zuerst entstanden sind, sind wohl sicherlich zusammengesetzte Gesteine gewesen. Eine Gewißheit darüber hat man nicht, da man noch nicht in solche Tiefen der Erde vorgedrungen ist, um das eigentliche Urgestein zu finden, welchem als Haupteigenschaft eine große Gleichmäßigkeit über den ganzen Erdball hinweg zukommen muß. Man hat vermeint, in den kristallinischen Schiefern dieses Urgestein vor sich zu sehen. Denn die Gliederung dieser bisher als ältesten bekannten Formationsgruppe ist in den großen Zügen eine stets wiederkehrende, und die einzelnen Abteilungen derselben, die Formation der Gneise, der Glimmerschiefer und Phyllite, sind überall die gleichen. Bei genauerem Hinsehen treten aber zahlreiche Momente hervor, welche gegen die allgemeine Auffassung der kristallinischen Schiefer als Erstarrungskruste der Erde sprechen. Vor allem tut dies das Auffinden von Fossilien in solchen Schiefern, die natürlich, wenn es sich um die eigentliche Erstarrungskruste handeln würde, nicht vorkommen könnten.

Wir haben dementsprechend das eigentliche Urgestein der Erde noch nicht kennen gelernt. Es lassen aber die eruptiven Gesteine, welche, aus dem Erdinnern zur Erdoberfläche hervorgedrungen, zweifellos primitive Gesteine sind, einen Schluß auf die Zusammensetzung auch des Urgesteines zu. Diese eruptiven Gesteine, über deren wichtigste Vertreter folgende kleine Zusammenstellung Aufschluß gibt:

Eruptivgesteine.

I. Tiefengesteine (im Innern der Erde erstarrt):
Granit, Syenit, Diorit, Gabbro, Diabas, Peridotit;
II. Ergußgesteine (an der Erdoberfläche erstarrt),
ältere: Quarzporphyr, Porphyrit, Melaphyr;
jüngere: Quarztrachyt, Trachyt, Andesit, Basalt.

Digitized by Google

sind sämtlich zusammengesetzte massige Gesteine, und zwar Silikatgesteine, deren Hauptbestandteile neben der Kieselsäure Aluminium, Eisen, Magnesium, Calcium, Kalium und Natrium bilden. In etwas größeren Mengen sind stets auch vorhanden die Elemente: Phosphor, Titan, Schwefel, Zirkon, Cer, Baryum und Strontium, während folgende Elemente nicht immer vorhanden zu sein brauchen, aber meistens in geringen Mengen beobachtet werden: Zinn, Uran, Lithium, Mangan, Chrom, Nickel, Kobalt, Caesium, Rubidium, Arsen, Antimon, Chlor, Fluor, Bor und die verschiedensten sonstigen selteneren Elemente, neben selbstverständlich Sauerstoff und Wasserstoff in Form von Wasser.

Aus diesen primitiven Gesteinen sind die heute an der Erdoberfläche eine weit größere Verbreitung aufweisenden sogenannten deuterogenen Gesteine: Sandsteine, Schiefer, Karbonatgesteine und Sulfate, Grauwacken, Sande und Kiese usf., welche in sich natürlich die gleiche Mannigfaltigkeit der chemischen Grundstoffe aufweisen wie ihre Muttersubstanzen, durch mechanische und chemische Zerstörung entstanden, d. h. durch dieselben Vorgänge, welche in ihrer Gemeinsamkeit das Wesen der Verwitterung bilden. Diese formt aus primitivem und deuterogenem Gestein in je nach dem physikalischen und chemischen Aufbau verschiedener Weise den Boden, der vielleicht nach Äonen von Jahren seinerseits von neuem zu Gestein sich verdichtet.

2. Die Verwitterung als bodenbildender Faktor.

Unter schußähnlichem Geknatter zerspringen, wie zahlreiche Reisende berichten, in wolkenlosen Nächten in Südwestafrika oft Steinwände und Felsen unter dem Einfluß der plötzlichen Nachtkälte nach der glühenden Hitze des Tages, genau, als wenn man ein heißes Glas plötzlich in kaltes Wasser steckt. Hier wie dort ist der jähe Wechsel der Temperatur, welchem die Ausdehnung resp. Zusammenziehung der Masse des Gesteins oder Glases nicht gleichmäßig zu folgen vermag, der Grund der Erscheinung.

Digitized by Google

Es bedarf wohl keiner besonderen Betonung, daß Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht von solcher Größe, daß sie ein explosionsartiges Zerspringen der Gesteine hervorrufen, nur in den Tropen und Subtropen zu finden sind. Immerhin müssen alle Temperaturunterschiede, auch wenn sie nicht so stark sind, bei einigermaßen schnellem Wechsel überall auf der Erde Wirkungen auf das Gestein, besonders auf seine Oberfläche, ausüben. Überall haben wir in solchen Temperaturschwankungen und den an sie anknüpfenden Volumänderungen der Gesteine einen Hebel zu sehen, welcher die Oberfläche vor allem zerstört, aber auch, da ja die verschiedenen Mineralien hinsichtlich ihrer Ausdehnung und Zusammenziehung bei wechselnder Temperatur sich verschieden verhalten, das innere Gefüge selbst der härtesten Gesteine allmählich lockert.

Haarfeine, dem Auge nicht sichtbare Risse und Spalte entstehen. Mögen diese Spalte aber auch noch so fein sein: das Wasser, das im Regen, im Schnee herabfällt, findet seinen Weg hinein und löst unablässig Teilchen für Teilchen auf, dadurch die kleinen Risse mehr und mehr, sei es auch im Laufe sehr langer Zeit, vergrößernd und vertiefend.

Dabei hat das Wasser einen sehr mächtigen Bundesgenossen, freilich hauptsächlich in gemäßigten und kalten Zonen: den Frost.

Das bis auf 0° erkaltete Wasser vergrößert bekanntlich beim Erstarren zu Eis das Volumen plötzlich um etwa 9%. Es ist klar, daß in engen Rissen dadurch eine ungemein starke Sprengwirkung auftreten muß, die die durch bloße Schwankungen der Temperatur erzeugte Wirkung bei weitem übertrifft. Diese Zerstörung muß eine um so schnellere und nachhaltigere sein, je öfter Tauwetter und Frost wechseln, je tiefer und anhaltender dabei der letztere wirkt. Das gilt also besonders für die gemäßigten und kalten Breiten, in welchen infolgedessen die Zerstörung des festen Gesteins eine weitaus schnellere ist, als in den Tropen und Subtropen.

Daß das Wasser auch in Form reißender Ströme lösend und zertrümmernd auf das Gestein des Strombettes wirkt, daß es in Form des Gletschereises gewaltige mechanische

Digitized by Google

Wirkungen auf sein Felsenbett entfaltet, versteht sich von selbst. Erinnert sei nur an die Klammen der Alpen, den gewaltigen Gran Cañon in Colorado, die einzig der Wirkung des strömenden Wassers ihre Entstehung verdanken, oder an die aus Gesteinsmehl bestehenden Grundmoränen der großen Gletscher.

Von sonstigen physikalischen Faktoren, welche auf die Zertrümmerung der festen Gesteine wirken, ist noch zu erwähnen der Einfluß des Windes, welcher sich durch mittreibenden Sand sehr verschärft. Wie stark die Wirkung sandführenden Windes sein kann, läßt sich, wenn nicht am Felsen, so doch an Baumstämmen oft an unserer Seeküste beobachten.

Alle diese physikalischen Faktoren vermögen im Laufe der Zeit wohl die festen Felsen zu mehr oder weniger feinem Gesteinsgrus zu zertrümmern, sie wohl auch staubfein zu pulvern, sie vermögen allein aber niemals das aus ihnen zu schaffen, was wir unter „Boden" verstehen. Dazu müssen ihnen eine ganze Reihe von chemischen Wirkungen zu Hilfe kommen.

Die lösende Kraft des Wassers, welche eine Trennung der Gesteinsbestandteile in leicht- und schwerlösliche vornimmt, ist bereits erwähnt. Abgesehen von dieser rein lösenden Wirkung entfaltet das Wasser aber auch eine direkt zersetzende, indem es oft ins Molekül von Verbindungen, speziell von Silikaten, hineintritt, diesen dadurch wesentlich andere chemische und physikalische Eigenschaften verleihend. Unterstützt wird es bei dieser zersetzenden Wirkung durch die Kohlensäure, welche es aus der Luft oder aus verwesenden organischen Bodenbestandteilen aufnimmt, die sich ihrerseits chemisch mit den verschiedensten Basen des Bodens: Kalk, Magnesia usw. verbindet, dadurch andere Säuren nach dem Gesetze der Massenwirkung in Freiheit setzend.

Auch diese sind natürlich nicht indifferent. Sie wirken ihrerseits lösend und zersetzend auf die verschiedenen Bodenbestandteile ein, und die Produkte setzen sich wieder miteinander um. Es entfaltet sich im Boden ein ständiges Wechselspiel von Aufbau und Zerfall der verschiedensten Verbindungen,

Digitized by Google

von Absorption und Lösung, beherrscht durch die Gesetze der chemischen Verwandtschaft und der Massenwirkung. Der Bodenkundler faßt diese Vorgänge unter dem Begriff der Bodenabsorption zusammen, auch wohl „komplizierte Verwitterung" genannt im Gegensatz zur einfachen Verwitterung durch Wasser, Kohlensäure und etwaige humushaltige Substanzen.

Der Ausdruck „kompliziert" besteht zu Recht. Denn da, wie oben ausgeführt, eine große Anzahl von Elementen sich an der Zusammensetzung der festen Gesteine beteiligt, ist natürlich die Zahl der in den Zersetzungsprodukten möglichen chemischen Vorgänge Legion und ständig wechselnd, so daß man auf eine genaue zahlenmäßige Feststellung der Vorgänge von vornherein verzichten müßte, selbst wenn man die genaue Zusammensetzung der Muttersubstanzen kennte.

Als Grundzug aller Umsetzungen gilt nun, daß stets ein Gleichgewicht zwischen den Wirkungen des Wassers, den darin gelösten Stoffen und den festen Bestandteilen des Bodens sich einstellt. Bei steigender Konzentration der Bodenlösung, wenn also etwas Wasser verdunstet, sehen wir zur Erreichung des Gleichgewichts von den festen Bodenbestandteilen gelöste Stoffe gebunden werden, im anderen Falle, wenn gelöste Stoffe aus dem Bodenwasser verschwinden, gehen wieder mehr Substanzen aus dem Bodenkapital in Lösung. Als solches können wir die festen Bodenbestandteile im Gegensatz zu den bereits gelösten, die gewissermaßen nur Zinsen des Bodenkapitals vorstellen, ansprechen.

Dabei bestehen für die einzelnen Stoffe folgende Regeln:

Von metallischen Elementen werden alle Schwermetalle stark gebunden, weil sie leicht unlösliche Verbindungen bilden, und befinden sich daher verhältnismäßig sehr wenig in Lösung.

Ziemlich stark gebunden, aber doch beträchtlich mehr als die Schwermetalle in Lösung, werden Kalium, Ammonium und Magnesium, weniger Natrium und Calcium.

Säuren werden nur dann gebunden, wenn ihre Salze schwer löslich sind. Das ist namentlich der Fall bei der Phosphorsäure, welche mit Calcium, Magnesium, Eisen

Digitized by Google

und Aluminium unlösliche Verbindungen eingeht. Schwefelsäure wird sehr schwach, Chlor und Salpetersäure gar nicht absorbiert.

Alle Bodenlösungen sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen, sehr verdünnt und ihre Konzentration bleibt nach obigem durch den Vorgang der Absorption so gut wie unverändert. Sie enthalten stets nur wenige Zehntel Prozent gelöster mineralischer Stoffe, deren Bestand sich aus dem Bodenkapital an ungelösten Stoffen reguliert, beeinflußt auch durch den Gehalt des Gemischs von Flüssigkeit und festen Teilen an Luft, welche natürlich auf die Verdunstung des Bodenwassers, die Berührung der einzelnen Partikelchen mit der Bodenlösung usw. nicht ohne Wirkung ist. Vor allem aber reguliert die Luft den Wärmehaushalt des Gemisches, auf welches jetzt voll und ganz die von Mitscherlich gegebene Definition zutrifft:

„Boden ist ein Gemenge von mehr oder minder kleinen, festen Teilchen, Wasser und Luft, welches, versehen mit den erforderlichen Pflanzennährstoffen, als Träger einer Vegetation dienen kann."

3. Die Aufnahme der Mineralstoffe durch die Pflanze und ihre Wanderung im Pflanzenleibe.

Corpora non agunt nisi fluida! Wenn irgendwo, so hat dieser alte, wenn auch nicht absolute Satz bei der Stoffaufnahme durch die Pflanzen aus dem Boden Bedeutung. Überall ist die Wurzel der Pflanzen das Organ, welches die Stoffaufnahme aus dem Boden, der Natur der Sache nach, nur vermitteln kann und in der Tat auch vermittelt. Überall ist ihr Inneres durch halbdurchlässige Membranen, die Wände der einzelnen Zellen der Wurzel, von der Außenwelt getrennt. Nirgends im Verlaufe der ganzen Wurzel besteht die Möglichkeit, feste Substanz in den Leib der Pflanze aufzunehmen, nirgends im ganzen Pflanzenorganismus mit seinen Millionen von voneinander durch, wenn auch oft noch so zarte, Membranen getrennten Zellen ist ein Transport fester Partikelchen weiter

Digitized by Google

als von einer Zellwand an die andere denkbar, d. h. also auf Entfernungen, die für die Ernährung der Einzelzellen vielleicht, niemals für die Ernährung des Gesamtzellenstaates, den der Leib der Pflanzen repräsentiert, in Betracht kommen.

Wohl enthält der Leib vieler, fast aller Pflanzen sogar, in den sogenannten „Gefäßen" lange, durch keine Querwände unterbrochene Röhren, wohl führen die Milchsäfte vieler Gewächse in dem oft stark verzweigten System ihrer Leitungsbahnen auch feste Körperchen mit sich. Es widerspricht dies dem Obigen dennoch nicht. Für feste Partikelchen der Außenwelt kommen diese, sonst vielleicht zu deren Fortführung geeigneten, Bahnen nicht in Betracht, da sie durch mindestens eine, meistens viele geschlossene Zellreihen, welche gewissermaßen als Sieb wirken, gegen die Außenwelt vollkommen abgegrenzt sind.

So bleibt für die Mineralstoffe einzig die Möglichkeit, in wässeriger Lösung in den Organismus der Pflanzen auf dem Wege der Osmose durch Vermittlung der Wurzelzellen einzutreten, d. h. in der Form, wie die Mineralstoffe ohnehin zum Teil im Boden vorhanden sind.

Es wäre nun falsch, wollte man sich die Verteilung des Wassers resp. der verdünnten Mineralstofflösung im Boden — denn absolut reines Wasser kommt natürlich nicht vor — so vorstellen, als ob dieselbe gleichmäßig wäre, als ob es sich um eine homogene Mischung von Wasser, festen Teilchen und Luft handelte. Vielmehr herrscht in den oberen Schichten des Bodens neben den festen Partikelchen, welche natürlich dem Gewicht nach weitaus die Hauptmasse der gesamten Bodensubstanz ausmachen, unter normalen Verhältnissen die Luft gegenüber dem Wasser vor, welches in Form der wässerigen Lösungen durch Oberflächenkräfte, vielleicht auch chemische Kräfte gehalten, wie ein Mantel die einzelnen festen Bodenteilchen, soweit sie überhaupt benetzbar sind, umkleidet und von ihnen sogar mit sehr großer Kraft festgehalten wird. In größeren Tiefen des Bodens, verschieden nach der wechselnden physikalisch-chemischen Zusammensetzung, nehmen diese Wasserhüllen an Dicke zu auf Kosten der Luftmenge, bis

Digitized by Google

schließlich alle Luft aus dem Boden durch Wasser ersetzt ist. Anfänglich, d. h. in den weniger tiefen Schichten, ist dieses dominierende Wasser noch kapillar gehalten, um schließlich bei noch größerer Tiefe als stehendes oder auch langsam strömendes Grundwasser aufzutreten. Dabei tritt es natürlich infolge des mit der Tiefe sehr schnell wachsenden Druckes der Bodenschichten dem Volumen und Gewicht nach gegenüber den festen Bodenteilchen mehr und mehr zurück.

Nur in mittleren und tieferen Zonen des Bodens werden unter normalen Bodenverhältnissen, die natürlich in Form von Sumpf, Moor, überschwemmtem Gelände usw. mancherlei Ausnahmen zulassen, die Pflanzen über überschüssiges Wasser resp. wässerige Mineralstofflösungen zu verfügen haben. Nur hier werden sie auch hin und wieder unter einem Übermaß von Wasser zu leiden haben, sich jedenfalls um seine Beschaffung nicht besonders zu bemühen brauchen, ebensowenig wie auf Moor und Sumpf oder im Wasser selbst, wo bekanntlich oft jede Entwicklung von Wurzeln unterbleibt.

Als Norm aber gilt, daß die Pflanze mit ihresgleichen und mit den physikalischen und chemischen Kräften des Bodens in stetem Kampf um das Wasser mit seinen darin gelösten Mineralstoffen liegt, einem Kampfe, der sie dazu zwingt, ihr Wurzelsystem dieser schwierigen Aufgabe entsprechend auszubilden.

Die Wurzel der Landpflanzen dient nicht nur der Befestigung des Lebewesens an der Scholle. Nicht bloß, um den Pflanzenleib gegen die Stürme des Luftmeeres fest zu verankern, ist das Wurzelsystem in oft so raffinierter Weise verzweigt, daß man sich bei Dünenbefestigungen z. B. diese Eigenschaft, stark verzweigte und weit reichende Wurzeln zu bilden, bei Strandhafer und ähnlichen anspruchslosen Gewächsen zunutze gemacht hat. Es ist geschehen, um möglichst weit den Boden zu durchdringen, um möglichst viele Bodenpartikelchen ihrer kapillar gehaltenen Wasserhüllen zu entkleiden, dieser Wasserhüllen, die ja auch gleichzeitig die Mineralien enthalten, die Nährstoffe der Pflanze.

Dazu genügt nicht das Entsenden von zahllosen Wurzelfasern nach allen Richtungen des Erdreichs. Es sind noch

Digitized by Google

zu rohe Instrumente. Viel feinere hat sich die Pflanze im Laufe der Zeiten zu schaffen gewußt: die Wurzelhaare.

In zahllosen Mengen, dicht nebeneinander stehend, wie die Haare eines Pelzes die Wurzelfasern umhüllend, durchdringen diese zarten Organe die engsten Bodenkanälchen, umspinnen die kleinsten Bodenteilchen und legen sich ihnen so eng an, daß sie förmlich mit ihnen verwachsen (siehe Abb. 1). „Obwohl nur eine mittlere Zellenstärke im Durchmesser erlangend und dem freien Auge nur als feine, glänzende Linie erscheinend, erreichen die Wurzelhaare doch oft mehrere Millimeter Länge, so daß sie die Wasser aufnehmende Oberfläche der Wurzeln sehr wesentlich vergrößern. Bei Pisum, wo etwa 230 Haare auf dem Quadratmillimeter stehen, wird nach F. Schwarz die Wurzeloberfläche durch sie auf das Zwölffache vergrößert.

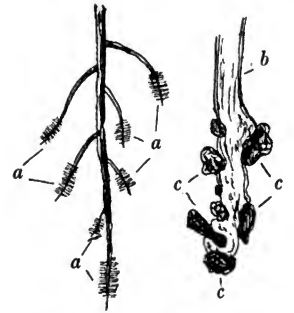


Abb. 1 (nach Noll).
a Wurzelhaare, b einzelnes Wurzelhaar, stark vergrößert, mit Bodenpartikeln c.

Es ist bemerkenswert, daß die Wurzelhaare meist nur eine verhältnismäßig kurze Zone hinter der fortwachsenden Wurzelspitze bedecken. Wenige Zeit schon nachdem sie ihre größte Länge erreicht haben und mit den Bodenteilchen in engste Berührung getreten sind, sterben sie aber ab. Die Wurzeloberfläche erscheint dann wieder nackt. Die älteren Wurzelteile beteiligen sich später nicht mehr unmittelbar an der Aufnahme des Nährwassers. Sie umhüllen sich mit Kork, versperren durch Dickenwachstum ihre Leitungsbahnen und dienen dann fast ausschließlich der Fortleitung des aus den jüngeren Wurzelteilen ihnen zuströmenden Wassers. An den jungen Teilen beschränkt sich die Aufnahme des Nährwassers vornehmlich auf die

Digitized by Google

behaarten Regionen oder bei unbehaarten Wurzeln auf eine entsprechend gelegene Zone.“ [1])

Trotzdem auf diese Weise selbst Böden noch Wasser hergeben, welche dem Auge und Gefühl schon trocken erscheinen, vermag die Pflanze die letzten Wasserreste einem Boden doch nicht zu entreißen. Diese letzten Prozente werden so festgehalten, sei es durch chemische, sei es durch physikalische Kräfte, daß die Pflanze im Streite unterliegt: welkt und schließlich verdorrt. So vermag z. B. Lehmboden noch 8% Wasser, also eine erhebliche Menge, mit solcher Zähigkeit festzuhalten.

Außer der Aufgabe, die bereits vorhandene wässerige Mineralstofflösung in möglichst weitgehendem Maße aufzunehmen, fällt den Wurzeln aber noch eine andere zu. Diese ist: neben niederen Organismen aller Art, neben von ihnen unabhängigen chemischen und physikalischen Einflüssen ihrerseits durch Ausscheiden von Kohlensäure und wohl auch sonstigen schwachen organischen Säuren zur Lösung der festen Bodenpartikelchen beizutragen und dadurch aktiv in den Bodenhaushalt, das Verhältnis zwischen gelöster und ungelöster Bodensubstanz, einzugreifen.

Natürlich handelt es sich auch bei den auf diese Weise verfügbar werdenden Stoffen wieder um ganz schwache, wässerige Lösungen, wie auch nur solche des weiteren in dem Leibe der Pflanzen kursieren. Stets bildet das Wasser die Grundbedingung allen organischen Geschehens, den Träger aller Lebensfunktionen, ohne dessen Vermittlung kein Prozeß in der ganzen Pflanzenwelt, im ganzen Tierreiche sich vollzieht, dessen Abwesenheit den sicheren Tod bedeutet, eine Rolle, die dem Wasser als solchem nicht nur die Aufgabe eines Nährstoffs, sondern des Hauptnährstoffs aller Organismen zuschiebt, dessen unbegrenzte Wichtigkeit auch für unser vorliegendes Thema hiermit betont sei, ohne auf zu weit führende Einzelheiten hier einzugehen.

Die Aufnahme der wässerigen Mineralstofflösung, der Nährlösung, wie Noll sie nennt, erfolgt, wie erwähnt, durch

[1]) Straßburger 1906, S. 168.

Digitized by Google

die sogenannte „Osmose", worunter man die „Diffusion", „das Hindurchdringen" tropfbarer Flüssigkeiten durch Membranen, in unserem Falle die Zellwandungen, versteht.

Befinden sich auf beiden Seiten einer Membran die gleichen Flüssigkeiten, so findet natürlich ein Austausch zwischen beiden Seiten nicht statt. Sind dagegen die auf beiden Seiten der Membran vorhandenen Flüssigkeiten verschieden zusammengesetzt, so treten Ausgleichsströmungen auf durch die Membran hindurch, wobei die chemische Verwandtschaft der in der Lösung enthaltenen Stoffe, Konzentrationsunterschiede der beiden Lösungen und schließlich ein gewisses Wahlvermögen der Membran selbst eine Rolle spielen. Auf letzteren für den vorliegenden Fall besonders wichtigen Umstand wird später zurückzukommen sein.

Besser als alle Worte veranschaulicht ein einfaches Experiment diesen wichtigen Vorgang der Osmose. Wenn man eine Glasröhre mit Pergamentpapier schließt und das geschlossene Ende in Wasser taucht, so wird, selbst wenn ein tüchtiger Druck auf das Pergamentpapier durch das Wasser infolge tiefen Eintauchens der Röhre ausgeübt wird, kaum ein Tropfen hineindringen, wenn das Papier eine gute, zähe Beschaffenheit hat. Füllt man nun die Glasröhre mit konzentrierter Lösung eines Salzes, Kupfervitriol z. B., und zwar selbst höher, als sie ins Wasser eingetaucht ist, so daß sogar der Druck im Innern der Röhre auf die Pergamentmembran stärker ist, als der Druck des Wassers von außen, da die Vitriollösung nicht nur über die Wasseroberfläche emporragt, sondern auch noch spezifisch erheblich schwerer ist, so nimmt trotzdem in kurzer Zeit die Flüssigkeitsmenge in der Röhre noch zu, kommt vielleicht sogar zum Überfließen. Es dringt eben vermittelst Diffusion durch die Pergamentmembran Wasser zu dem Kupfervitriol hinein, und zwar mehr, als von dem Kupfervitriol nach außen dringt, da jeweils die verdünntere Lösung schneller die Membran passieren kann, wenn nicht ein besonderes Wahlvermögen der Membran das Verhältnis ändert.

Genau den gleichen Vorgang, wenn auch in etwas anderer Form, haben wir bei der Aufnahme des Nährwassers durch

Digitized by Google

die Wurzelzellen der Pflanze vor uns. Auch hier dringt eine schwache Lösung in eine etwas konzentriertere, den Zellinhalt, durch eine Membran, die Zellwandung, hinein. Auch hier vermag die eindringende Lösung schneller einzutreten, als etwas von dem Zelleninhalt hinausgelangen kann, wofür allerdings außer der Konzentration noch andere Gründe vorhanden sind. Während nämlich in der äußeren Flüssigkeit sich wesentlich kristalloide Körper mit verhältnismäßig kleinem Molekül und damit hoher Diffusionsmöglichkeit befinden, enthält das Zellinnere hauptsächlich kolloidale Körper, die eine eigentliche Lösung überhaupt nicht bilden und infolge ihres sehr großen Moleküls so gut wie gar nicht, teilweise sogar überhaupt nicht, diffundieren. Auch die eintretenden Mineralstoffe werden jedenfalls sehr schnell durch Anlagerung an organische Verbindungen in colloidale Form übergeführt und damit ein Rückdiffundieren verhütet. Durch das Eindringen des Nährwassers entsteht in der Zelle ein Überdruck: der Turgor der Zellen.

Dieser Überdruck ist außer als Festigkeit gebendes Moment sehr wichtig für die Verteilung des Wassers mit seinen gelösten Stoffen durch den ganzen Organismus der Pflanzen. Er geht teils indirekt auf dem Wege wiederholter Diffusion von Zelle zu Zelle über, teils direkt, sobald die Flüssigkeit an den eigentlichen Wasserleitungsbahnen der Pflanzen, den Gefäßbündeln, und zwar speziell den Gefäßen und Tracheiden angelangt ist, durch einfache Stauwirkung in den Leitungsbahnen der Pflanzen.

Dieser Vorgang, von der Wissenschaft unter dem Namen Wurzeldruck begriffen, geschieht in vielen Pflanzen mit größter Kraft. Erinnert sei z. B. an das bekannte „Bluten" abgeschnittener Baumstümpfe, das diesem Wurzeldruck seine Entstehung verdankt. Man hat Wurzeldrucke beobachtet, welche einer Wassersäule von 18 m die Wage zu halten vermochten.

Bis zu solcher Höhe würde dementsprechend auch das Nährwasser in der Pflanze getrieben werden können, und man hat, da solche Drucke an verletzten Pflanzen gemessen wurden, annehmen zu können geglaubt, daß in gesunden

Digitized by Google

Pflanzen der Druck ein noch wesentlich höherer wäre und so ausreicht, um das Steigen des Wassers bis in die Kronen der höchsten Bäume zu erklären.

Doch diese Annahme erwies sich als irrig. Man kennt Pflanzen mit sehr geringem Wurzeldruck und hat andererseits berechnet, daß viele Bäume zeitweise viel mehr Wasser mit ihren gewaltigen Laubflächen verdunsten, als ihnen der Wurzeldruck allein selbst bei starker Ausbildung überhaupt zuzuführen vermag. Das geht sogar so weit, daß der abgeschnittene Stumpf einer eben noch kräftig verdunstenden Pflanze nicht nur kein Wasser durch Wurzeldruck ausstößt, sondern im Gegenteil gierig Wasser aufsaugt.

Es hat also offenbar die starke Verdunstung oder Transpiration der Pflanzen durch ihre Blätter, welche durch die Flächenausbreitung dieser Organe und die darauf befindlichen zahllosen Spaltöffnungen unterstützt wird, welche letzteren gleichzeitig durch Schließ- und Öffnungsvorrichtungen der Regulierung der Transpiration dienen, direkt einen Unterdruck im Innern des von der Außenwelt hermetisch abgeschlossenen Pflanzenkörpers erzeugt, der natürlich in gleichem Sinne wie der Wurzeldruck auf Emporsteigen des Wassers wirkend, diesen kräftig unterstützt.

So ist im Pflanzenleibe zur Versorgung aller auch der kleinsten Teilchen mit dem Mineralstoffe enthaltenden Nährwasser Druck- und Saugwirkung — Wurzeldruck und Transpiration — miteinander kombiniert, um den oft sehr großen Wasserbedarf der Pflanzen — es erfordert jedes Gramm Trockensubstanz zu seiner Bildung rund 250—400 g verdunstetes Wasser — zu decken. Unterstützt vielleicht durch eine noch nicht erkannte Lebenstätigkeit der Zellen, vereinigen beide ihre Wirkungen, um je nach ihrem Bedarf die zarten Fiedern der niederen Kräuter, die prangenden Blüten unserer Ziergewächse, aber auch die höchsten Kronenblätter der gigantischen Riesen des Urwaldes, den letzten Sproß der oft 100 und mehr Fuß rankenden Lianen mit dem belebenden Naß zu versorgen, zugleich aber mit den darin gelösten Mineralstoffen zu durchdringen, welche, wie das Wasser selbst, zum

Digitized by Google

organischen Leben unumgänglich als Nährstoffe notwendig sind. Daß zur Versorgung niederer, aus nur einer oder aus wenigen Zellen bestehender Gewächse die einfache Osmose zur Versorgung mit Nährlösung genügt, die solche meist aquatilen Organismen ja umspült, versteht sich von selbst.

Im Lebensprozesse an die verschiedenen organischen Bausteine des Pflanzenleibes der Hauptsache nach gekettet, entziehen sich freilich die Mineralien, von wenigen nachher zu behandelnden Ausnahmen abgesehen, der Beobachtung. Beim Zerfall des Organismus, sei es im natürlichen Laufe der Dinge, sei es durch gewaltsame Einwirkung des Feuers, sind sie trotz ihrer zeitweiligen Unsichtbarkeit während des Lebens das einzig Bleibende, das nicht der weiteren Zerstörung unterliegt: die Aschenbestandteile, die jeder, auch der zarteste und jüngste Pflanzenteil enthält, die Pflanze selbst als einen Gast des Bodens, auf welchem sie steht, dokumentierend, mag sie wie die Mehrzahl der Pflanzen in selbständiger Existenz die Nährstoffe dem Boden oder Wasser entziehen, mag sie sie als Schmarotzer dem Saft eines anderen Gewächses entnehmen.

III. Die Aschenbestandteile und ihre Rolle im Pflanzenorganismus.

1. Die Bestandteile der Pflanzenasche.

Aus dem bisher Ausgeführten ergibt sich zwingend der Schluß, daß die Asche der Pflanzen alle nichtflüchtigen Elemente enthalten muß, welche im Boden gerade vorkommen, soweit sie der Pflanzenwurzel in Lösung geboten sind, oder aber durch ihre eigene Tätigkeit löslich werden. Die chemische Untersuchung der Pflanzenasche hat diese Annahme auch vollauf bestätigt. Man hat in der Tat, wo man danach suchte, in Pflanzenasche alle Stoffe des Bodens wiedergefunden. Man hat folgende Elemente in den Pflanzenaschen direkt beobachtet: Schwefel, Phosphor, Chlor, Jod, Brom, Fluor, Selen, Tellur, Arsen, Antimon, Silicium, Zinn, Titan, Bor, Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Calcium, Strontium,

Digitized by Google

Baryum, Magnesium, Zink, Kupfer, Silber, Quecksilber, Blei, Aluminium, Thallium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt und Nickel. Daß sonstige Elemente des Bodens noch nicht analytisch in den auf dem Boden erwachsenen Pflanzen beobachtet sind, liegt sicherlich nicht daran, daß sie etwa gar nicht aufgenommen sind, sondern wohl nur daran, daß ihre Mengen sich wegen ihrer Geringfügigkeit der nicht direkt darauf gerichteten Analyse entzogen haben.

Entsprechend der wechselnden Zusammensetzung der Böden, welche ja auch nicht alle Kupfer oder Chrom z. B. enthalten, sind nun keineswegs alle aufgeführten Elemente bei der Untersuchung jeder Pflanzenasche gefunden. Im Gegenteil, die meisten kommen nur vereinzelt und zufällig vor und beweisen schon dadurch, daß sie ein unentbehrliches Bedürfnis der Pflanzen nicht darstellen können, mögen diese Stoffe, wenn sie vorhanden sind, auch einen noch so großen Einfluß auf die Pflanze äußern. Doch das gehört erst in ein späteres Kapitel.

Dagegen begegnen dem Analytiker fast in jeder Pflanzenasche Silicium, Schwefel, Phosphor, Chlor, Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen und Mangan, d. h. alle diejenigen Elemente, welche überall die Hauptbestandteile der Böden ausmachen, möge deren Zusammensetzung im einzelnen noch so viel schwanken.

Böden, in welchen der eine oder andere der aufgeführten Mineralstoffe völlig fehlt, sind sehr selten in der Natur anzutreffen, wenn auch die Möglichkeit ihres Vorkommens nicht völlig ausgeschlossen ist. Ehe man über einen Stoff ein Urteil abgeben darf, ob er ein Nährstoff ist und für das Dasein der Pflanze völlig unentbehrlich, oder ob er nur zufällig von ihr aufgenommen wird, was die Möglichkeit, daß diese Aufnahme für den Pflanzenorganismus selbst von Nutzen ist, ja nicht ausschließt, müßte man zahlreiche Analysen von Pflanzen von derartig glücklich zusammengesetzten Böden besitzen. Eine Forderung, welche sich, wie schon erwähnt, nicht erfüllen läßt.

Bei der Beurteilung, inwieweit ein bestimmtes Element für das Gedeihen der Pflanzen von Wert ist, ob zufällig

Digitized by Google

aufgenommen und physiologisch ohne Einfluß, ob nicht unbedingt notwendig, aber doch nützlich, oder ob schließlich eigentlicher Nährstoff, läßt die bloße Analyse der Asche von Pflanzen von natürlichen Standorten demgemäß im Stich.

Immerhin genügte die kritische Betrachtung der Ergebnisse von Aschenanalysen dazu, de Saussure bereits im Jahre 1804 zu der Ansicht zu führen — im Gegensatz zu dem oben geschilderten Irrtum — daß man „die alkalischen Substanzen, welche in allen Pflanzen angetroffen werden, zu den wesentlichsten Bestandteilen derselben rechnen könne. Ihre Geneigtheit, chemische Verbindungen einzugehen, mache sie geschickt, mehrere Bestandteile, welche tauglich sind, zur Nahrung der Pflanze zu dienen, in den Saft derselben einzuführen."

Auf derselben Grundlage, gestützt auf Aschenanalysen, spricht Sprengel 1837 von Eisen, Mangan, Magnesia, Kali, Natron, Chlor, Phosphorsäure und Schwefelsäure und stickstoffhaltigen Körpern als unentbehrlichen Nahrungsmitteln der Pflanzen und notwendigen Bestandteilen eines fruchtbaren Bodens. Auf derselben Grundlage schließlich wurde sich Liebig, der Reformator der Agrikulturchemie über die Bedeutung der Pflanzenasche, genauer gesagt, der Mineralstoffe der Pflanzenasche, klar und begründete die sogenannte neue Ära der Agrikulturchemie, bezeichnet durch seine Mineraltheorie, die die Mineralstoffe, sowohl definierbare Faktoren, als Grundlage der Fruchtbarkeit der Böden, als eigentliche Nährstoffe der Pflanzen hinstellte, entsprechend der von Sprengel bereits drei Jahre vorher vertretenen Anschauung.

Was aber diesem letzteren Forscher nicht gelang, die Fachgenossen zu seiner Überzeugung zu bekehren, glückte, wenn auch nach harten, wissenschaftlichen Kämpfen, die sich fast 22 Jahre hinzogen, Liebig, unterstützt durch seinen bereits großen Ruf als Forscher auf dem Gebiete der reinen Chemie, der ihm von vornherein große Verbreitung seiner Anschauungen und eine gewisse Autorität sicherte. Eine Autorität, gegenüber welcher die Verdienste seiner Vorarbeiter ganz in den Hintergrund kamen, so daß man von seinem Auftreten

Digitized by Google

eine neue Epoche der Lehre von der Pflanzenernährung datierte[1]).

„Es ist das unanfechtbare Verdienst Liebigs, auch wenn von den richtigen Sätzen, die er in seinem Buch von 1840 ausgesprochen hat, keiner sein geistiges Eigentum genannt werden dürfte, daß die Wichtigkeit derselben klarer vor seiner Seele stand, als vor der irgend eines Mitlebenden, daß er erst den Zusammenhang alles von ihm zutage Geförderten recht begriff, daß er einsah, wie es allein durch die Zerlegung der komplexen Begriffe: Boden, Dünger, Fruchtbarkeit in einzelne naturwissenschaftlich definierbare Faktoren gelingen könne, eine Theorie der Pflanzenernährung aufzubauen, deren Erfolge — hatte sie sich einmal ein Recht gesichert, in der Praxis mitzusprechen — ganz unabsehbar sein mußten. Diese Ansicht, die ihn ohne Zweifel über diejenigen Zeitgenossen, die zur selben naturwissenschaftlichen Erkenntnis gelangt waren, und zu einem wirklichen Reformator der physiologischen Wissenschaft erhebt, hatte ihn befähigt, jene schöne, eindringliche Sprache zu reden, die seinem Buche einen so großen Leserkreis verschafft hat."

Einen wirklichen einwandfreien Beweis für alle Theorien konnte aber nur das Experiment liefern, welches der Pflanze ganz bestimmte Stoffe in einem in seiner Zusammensetzung genau bekannten Boden zur Verfügung stellte. Ein solches Experiment lag weder de Saussures, noch Sprengels, noch Liebigs Theorie zugrunde. Das erste dieser Art bildeten die von der Universität Göttingen mit einem Preise gekrönten Untersuchungen von Wiegmann und Polstorff über die Frage: „ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben nicht dargeboten werden, und ob jene Elemente so wesentliche Bestandteile des vegetabilischen Organismus seien, daß dieser sie zu seiner völligen Ausbildung bedürfe?"

Die beiden Versuchsansteller wiesen an den bekanntesten Nutzpflanzen nach, daß ohne Anwesenheit von löslichen

[1]) Mayer, Ernährung der grünen Gewächse. S. 263.

Digitized by Google

Mineralien in einem Pflanzenstandort die Entwicklung der Gewächse eine ganz geringe sei und bald zum Stillstand gelange, und daß eine Anreicherung an Aschenbestandteilen nicht stattfinde.

Sie verwandten als Nährboden Sand, welcher einmal mit Königswasser ausgelaugt, ein andermal in alter Form belassen, dann schließlich mit den verschiedensten Lösungen befeuchtet war. Diese Methode der „Sandkultur", welche durch Hellriegel später zu höherer Vollendung ausgebildet ist, bietet den Vorteil, den Pflanzen einen Standort zu verschaffen, welcher sich den natürlichen Verhältnissen möglichst anlehnt. Aber ihre Nachteile sind demgegenüber nicht zu unterschätzen.

Vor allem ist es sehr schwer, sich ein wirklich unlösliches Material — und ein solches muß man haben, wenn man nicht von vornherein Fehler in die Versuchsanstellung hineintragen will — zu verschaffen. Reste löslicher Substanzen bleiben selbst bei sorgsamster Auslaugung des Sandes zurück und verwirren die Resultate. Anderer als sehr nährstoffarmer Sand scheidet aus dem gleichen Grunde natürlich von vornherein aus, da gewöhnlicher Ackerboden z. B. mit seiner großen Menge kolloidaler Substanzen eine „Reinigung" in dem erforderlichen Grade überhaupt nicht zuläßt.

Andererseits ist ein so behandelter Sand mit ursprünglichem Boden doch nicht mehr zu vergleichen, besonders nicht hinsichtlich seiner Absorptionsfähigkeit, die wir als wichtig für die Regulierung der Konzentration der Bodenlösung erkannt haben. Die Folge sind Schwierigkeiten durch Änderungen dieser Konzentration, welche häufig zu ganz falschen Resultaten derartiger Versuche geführt haben.

Diesen Schwierigkeiten ging man bald aus dem Wege durch Anwendung der Wasserkulturmethode, welcher die Wissenschaft die wertvollsten Aufschlüsse über die Rolle der einzelnen Mineralstoffe im Pflanzenleben verdankt.

Das Wesen der Wasserkultur besteht darin, daß man das Wurzelsystem der Pflanzen, statt in Erde, in Wasser resp. in Lösungen von bestimmter Zusammensetzung sich ent-

Digitized by Google

wickeln läßt. Wenn man vorsichtig dabei verfährt, gelingt es, viele Pflanzen ihre ganze Vegetation hindurch vollkommen normal zu erhalten, so daß man über ihren Bedarf an den einzelnen Mineralstoffen, vorausgesetzt, daß man den Gehalt des Samens oder Stecklings an diesen Stoffen mit in Rechnung zieht, Aufschluß erhalten kann.

Zu berücksichtigen ist dabei, daß sehr bald Konzentrationsänderungen in der Lösung auftreten, hervorgerufen durch ein auf diese Weise festgestelltes Wahlvermögen der Pflanzen für bestimmte Stoffe, die bei Nichtbeachtung zu Mißerfolgen führen. Um ein Beispiel einer solchen Nährlösung, wie sie jetzt zu botanischen Versuchen vorwiegend gebraucht wird, zu geben, sei hier die Zusammensetzung der v. d. Croneschen Nährlösung mitgeteilt:

Kalisalpeter	1,0 g	in 1—2 l Wasser.
Ferriphosphat	0,5 g	
Tricalciumphosphat . . .	0,5 g	
Gips	0,25 g	
Magnesiumsulfat	0,25 g	

Ein weiterer Umstand, welcher bei der Verwertung auf solche Weise erhaltener Resultate Beachtung erheischt, ist der, daß sich das Wurzelsystem der Pflanzen im Wasser naturgemäß wesentlich anders als im Boden entwickelt. Man kann daher nur mit Vorsicht die Erfahrungen der Wasserkultur auf die Erscheinungen der Kultur im Boden übertragen.

Das Verfahren im Einzelfalle gestaltet sich bei der Wasserkultur dementsprechend so, daß man die Samen der zu untersuchenden Pflanzen in destilliertem Wasser quellen, alsdann in befeuchteten Sägespänen oder einem anderen Medium keimen läßt. Wenn dann das Würzelchen und die Plumula eine gewisse Länge erreicht haben, befestigt man die Keimpflanzen so über der Nährstofflösung, daß nur das Würzelchen in diese eintaucht.

In der Lösung müssen in entsprechenden Konzentrationsverhältnissen alle als notwendig erkannten oder geltenden Stoffe bis auf den einen, für welchen ein Beweis zu erbringen ist, vorhanden sein. Handelt es sich dann um einen wirklich

Digitized by Google

unbedingt notwendigen Nährstoff, welchem irgend eine physiologische Rolle im Pflanzenorganismus zukommt, so wird bei seinem Fehlen natürlich nur insoweit ein Wachstum der Pflanzen eintreten, als der im Samen vorhandene Vorrat an dem betreffenden Stoff dazu ausreicht. Bei einer nur nützlichen Rolle des betreffenden Stoffes wird das Wachstum in der davon freien Lösung hinter dem in der vollständigen Lösung zurückbleiben. Ist der Stoff für die Pflanze schließlich indifferent, so wird sich sein Fehlen gar nicht bemerkbar machen.

So klar und einfach, wie sie hier erläutert sind, gestalten sich die Verhältnisse freilich bei der Ausführung eines solchen Versuches nicht. Es spielt die Möglichkeit, daß sich in gewissen Grenzen einzelne Mineralstoffe vertreten und in ihren Funktionen im Pflanzenkörper ersetzen können, eine große Rolle, des weiteren die Form, in welcher die einzelnen Nährstoffe dargeboten sind. So haben z. B. lösliche Phosphate, trotzdem die Phosphorsäure ein sehr wichtiger Pflanzennährstoff ist, oft eine direkte Giftwirkung und kommt die Phosphorsäure erst in schwer löslicher Form zu nützlicher Geltung. Andererseits wirken an sich nicht wertvolle Stoffe oft gewissermaßen den Appetit der Pflanzen anregend, Gifte oft stimulierend, wie man es ja auch vom Tierkörper kennt, usw.

Als feststehendes Ergebnis einer sehr großen Anzahl daraufhin gerichteter Untersuchungen ist die Gewißheit zu betrachten, daß zehn Elemente für die höhere Pflanze unentbehrlich sind, weil sie offenbar wichtige physiologische Funktionen im Pflanzenorganismus zu erfüllen haben. Es sind dies außer den später zu behandelnden, die verbrennliche Trockensubstanz der Pflanzen bildenden Elementen, Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, die Elemente: Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen. Es ist keine Entwicklung einer höheren Pflanze möglich, wenn auch nur eines dieser Elemente fehlt, die sich auch untereinander nur in sehr beschränktem Grade vertreten können resp. durch nahestehende Elemente ersetzt werden können.

Pilze und verwandte niedere Organismen sollen sich mit neun dieser Elemente begnügen können, indem sie nur Kalk

Digitized by Google

oder nur Magnesia, also nur ein Erdmetall, verlangen. Es soll ferner bei verschiedenen Pflanzen niederer Gattung das Lithium in größerem Umfange das Kalium ersetzen können. Ob diese Untersuchungen Molischs unwiderlegt bleiben werden, ist abzuwarten.

Über die Form, in welcher diese Nährstoffe der Pflanze geboten werden müssen, läßt sich allgemein aussagen, daß sie als gegenseitige Verbindungen aufnehmbar sind oder in Bindung an andere Stoffe, soweit diese der Pflanze nicht direkt schädlich sind.

Als nützliche, aber nicht unentbehrliche Stoffe haben sich Chlor, Kieselsäure, Natrium und Mangan erwiesen. Die Ansichten über sonstige Stoffe sind noch geteilt, soweit man sich nicht über ihre völlige Bedeutungslosigkeit in physiologischer Richtung im klaren ist, die aber eine hohe morphologische Bedeutung nicht ausschließen kann. Es wird davon später im einzelnen die Rede sein müssen.

Außer der Gewißheit über die Unentbehrlichkeit der zehn Elemente für das Gedeihen der höheren Pflanzen haben die Wasserkulturversuche, wenn auch keine Folgerungen von direkter Übertragbarkeit auf die Praxis des Pflanzenbaues, so doch in Verbindung mit der chemischen Analyse der in den Nährlösungen erwachsenen Pflanzen und ihrer mikrochemischen und mikroskopisch-anatomischen Analyse gewisse Aufschlüsse geliefert über die Rolle der Einzelstoffe im Pflanzenorganismus selbst.

Ehe wir darauf eingehen, sei ein Blick auf die Mengenverhältnisse der Gesamtasche in verschiedenen Pflanzen geworfen. Wolff leitet in seinen „Naturgesetzlichen Grundlagen des Ackerbaues" für die einzelnen Gruppen von Kulturgewächsen folgende allgemeine Durchschnittszahlen her:

Ein- und zweijährige Pflanzen.		Perenierende Pflanzen.	
Samen	3%	Samen	3%
Stengel	5%	Holz	1%
Wurzeln	4%	Rinde	7%
Blätter	15%	Blätter	10%

Digitized by Google

Von einzelnen bekannteren Pflanzen enthalten in 100 Teilen Trockensubstanz:

I. Ganze Pflanzen.

Mais in der Blüte	6,06	Teile	Gesamtasche
Winterweizen im Schossen	9,75	„	„
Esparsette in der Blüte	5,50	„	„
Rotklee in der Blüte	6,83	„	„
Erbsen in der Blüte	7,50	„	„
Raps in der Blüte	8,10	„	„
Heidekraut	2,10	„	„
Moose	2,56	„	„
Pilze	1,00	„	„
Bakterien	2,00	„	„

II. Pflanzenteile.

Weizenkörner	2,00	Teile	Gesamtasche
Weizenstroh	5,40	„	„
Erbsen	2,70	„	„
Erbsenstroh	5,20	„	„
Kartoffelknollen	3,77	„	„
Kartoffelkraut	9,50	„	„
Eichenholz	0,50	„	„
Eichenblätter	3,50	„	„
Eicheln	2,10	„	„
Äpfel	1,40	„	„

2. Die physiologische Rolle der Aschenbestandteile.

a) Die Metalle der Pflanzenasche.

In zweifacher Hinsicht können die Mineralstoffe der Pflanzenasche im Organismus der Pflanzen von Bedeutung sein. Einmal können sie gewissermaßen das Gerippe der Moleküle lebenswichtiger organischer Verbindungen, wie z. B. besonders der Eiweißkörper, vorstellen. Dann aber können sie, ohne selbst mehr als nur vorübergehend ins Molekül von organischen, für den Lebensablauf wichtigen Verbindungen einzutreten, den Aufbau solcher Verbindungen vermitteln, eine

Digitized by Google

Fähigkeit, die auch für die sogenannten nützlichen Aschenbestandteile der Pflanzen in Anspruch zu nehmen ist.

In beiderlei Hinsicht von Wichtigkeit ist allem Anschein nach — der ständige Wechsel der Anschauungen auf dem Gebiete der physiologischen Chemie, welcher sich mit fortschreitender Verbesserung der Forschungsmethoden bemerkbar macht, zwingt zu vorsichtiger Ausdrucksweise — das einzige Schwermetall, welches sich in allen Aschen pflanzlichen Ursprungs findet: das Eisen.

Die außerordentlich wichtige Rolle des Eisens für den tierischen Organismus als Sauerstoffüberträger in dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen, dessen Fehlen Bleichsucht und oft tödliche Krankheitserscheinungen hervorruft, ist bekannt. Im Pflanzenreiche zeichnen sich besonders die grünen Pflanzenteile durch einen hohen Eisengehalt aus. Das Blattgrün (Chlorophyll) der Pflanzen ist seiner chemischen Natur nach, wie sich aus seinen Spaltungsprodukten zeigt, nahe mit dem Blutfarbstoff verwandt. Was lag näher als der Schluß, daß auch das Chlorophyll in derselben Weise wie der Blutfarbstoff in seinen Molekülen Eisen enthalten müsse? Öffnete sich doch dadurch zugleich eine höchst reizvolle Perspektive, daß die beiden für die Existenz der höheren Organismen so außerordentlich wichtigen Stoffe: Blutfarbstoff und Blattgrün eine bis ins Detail gehende Wesensverwandtschaft zeigen sollten.

So war in der Tat lange Zeit die Lehrmeinung, daß das Eisen zur Konstitution des Chlorophyllmoleküls gehöre, und die zahllosen Arbeiten über diesen wichtigen Stoff nahmen die Anwesenheit des Eisens in ihm einfach als eine gegebene Tatsache an. Erst die allerneueste Zeit, das Jahr 1907, hat die überraschende Tatsache ergeben, daß das Chlorophyll als solches kein Eisen enthält. Willstädter, dem wir diese höchst mühsamen und die peinlichste Aufmerksamkeit bei den geringen in Frage kommenden Substanzmengen erfordernden Chlorophylluntersuchungen verdanken, hat sogar eine ganze Reihe von Farbstoffen aus dem Rohchlorophyll isoliert, die sämtlich wie dieses selbst kein Eisen enthielten, damit die Forschung über die assimilatorische Tätigkeit des Chlorophylls auf eine ganz neue Basis stellend.

Digitized by Google

Wenn aber auch das fertige Blattgrün selbst Eisen nicht mehr enthält, so kommt diesem Elemente an der Entstehung des Grüns jedenfalls eine äußerst wichtige Rolle zu. Schon der Umstand der Anhäufung von Eisen in grünen Pflanzenteilen läßt auf nahe Beziehungen schließen. Es seien zum Belege dessen einige Zahlen mitgeteilt:

Es enthielten in 1000 Gewichtsteilen Trockensubstanz:

Kartoffelknollen	0,5	Teile	Eisenoxyd
Kartoffelkraut	3,4	„	„
Futterrunkelrüben, Wurzeln	0,6	„	„
„ Blätter	2,2	„	„
Winterweizen, Körner	0,3	„	„
„ Blätter	0,8	„	„
Mais, Körner	0,2	„	„
„ Blätter und Blüten	1,4	„	„

Durchweg ist in allen Pflanzengruppen der Gehalt der grünen Pflanzenteile an Eisen ein höherer, als derjenigen, welche kein Blattgrün führen. Namentlich bei den Knollen- und Wurzelgewächsen werden die Unterschiede höchst bemerklich.

Den eigentlichen Beweis, daß das Eisen in engem Zusammenhange mit dem Blattgrün steht, haben aber auch, wenn auch nicht unmittelbar und nicht ohne zeitweiligen Widerspruch, Kulturversuche geliefert.

Es gelingt leicht, in eisenfreien Nährlösungen Pflanzen, die allerdings ja schon in ihren Samen eine gewisse geringe Eisenmenge enthalten, bis zu einer gewissen normalen Anfangsentwicklung zu bringen. Bei der Entwicklung der Blätter und grünen Organe dagegen treten Symptome ein, die auf mangelhafte Ernährung schließen lassen. Speziell die Chlorophyllkörner werden unzureichend ausgebildet und nehmen keine grüne, sondern eine gelbliche Färbung an, so daß die Pflanzenblätter dem Auge bleich erscheinen. Die Pflanze leidet, wie der botanische Fachausdruck lautet, an Chlorose.

Diese Krankheit läßt sich heilen durch Zufügung geringer Eisenmengen zur Nährlösung, ja sogar schon durch Bepinseln mit schwachen Eisenlösungen. Werden der Nähr-

Digitized by Google

lösung von vornherein Eisenverbindungen zugesetzt, so tritt Chlorose überhaupt nicht ein und die Pflanzen entwickeln sich ganz normal, bilden vor allen Dingen ganz normale Chlorophyllkörner aus. In welcher Form die Zuführung des Eisens geschieht, ist dabei ziemlich gleichgültig. Am besten wirkt Eisen in Form von Oxyd, z. B. als fein verteiltes phosphorsaures Eisenoxyd, wie man es auch mit Vorliebe in Nährlösungen verwendet. Aber auch die lange Zeit für sehr starke Pflanzengifte geltenden Oxydulverbindungen des Eisens vermögen in genügend starker Verdünnung durchaus dieselben Dienste wie die Oxydverbindungen zu leisten. „Allerdings ist der Beweis noch nicht geliefert, ob etwa nicht vor dem Eintritt der Oxydulsalze in die Wurzeln Eisenoxydverbindungen gebildet werden."

Diese Notwendigkeit des Eisens, wenn auch nicht als ein Baustein des Chlorophyllmoleküls, so doch als Helfer bei seiner Bildung, wie es sich aus obigem bisher ergibt, liegt für niedere pflanzliche Organismen, die bekanntlich in weitem Umfange kein Blattgrün enthalten, nicht vor. Trotzdem findet man bei niederen Gewächsen nicht nur das Eisen als ständigen Bestandteil ihrer Asche, sondern es wirkt in Nährlösungen bei Pilzen und vor allen Dingen Bakterien stark das Wachstum befördernd, und es tritt ohne seine Anwesenheit kein freudiges Wachstum ein. Man braucht dabei noch nicht an die Eisenbakterien Crenothrix, Cladothrix und andere verwandte Organismen zu denken, welche ohne Eisen, und zwar speziell ohne Eisenoxydulverbindungen, die sich in gewissem Grade durch Manganverbindungen ersetzen lassen, überhaupt nicht gedeihen. Alle Bodenorganismen besonders erheischen in ihren Nährflüssigkeiten, wenn sie gut gedeihen sollen, Spuren von Eisen[1]).

[1]) Die Gattungen Crenothrix, Cladothrix und Leptothrix finden sich in großer Anzahl in solchen Wässern, die reich an doppelkohlensaurem Eisenoxydul $FeH_2(CO_3)_2$ sind. Sie nehmen dieses auf dem Wege der Diffussion auf und spalten es in ihrem Plasma entsprechend der Gleichung $2\,FeCO_3 + 3\,H_2O + O = Fe_2(OH)_6 + 2\,CO_2$, wobei sie die durch Oxydation des Oxyduls zu Oxyd freiwerdende Spannkraft für ihren Lebensprozeß ausnutzen.

Digitized by Google

Es wird also der Schluß zwingend, daß dem Eisen auch im Plasma selbst eine Rolle von höchster Wichtigkeit zufallen muß. Obwohl man heute die genaue Konstitution der Eiweißkörper noch nicht kennt, nimmt man — es sind allerdings die Ansichten noch recht geteilt, was bei der Schwierigkeit des Gegenstandes nicht wundernehmen darf — an, daß das Eisen als Sauerstoffüberträger gewissermaßen das tätige Prinzip der lebenden Eiweißsubstanz sei, in ähnlicher Weise, wie es als tätiges Prinzip vieler Enzyme, speziell in verschiedenen Oxydasen, ebenfalls in der Rolle des Sauerstoffüberträgers bekannt geworden ist. Und die Enzyme spielen ja ihrerseits eine außerordentlich wichtige Rolle im gesamten Lebensvorgang aller Organismen. Für endgültige Feststellungen über die Rolle des Eisens ist heute die Sachlage noch nicht reif, und wird es erst noch vieler, die peinlichste Sorgfalt und Selbstkritik erfordernder Untersuchungen bedürfen, ehe wir über diese Rolle des Eisens zur wünschenswerten Klarheit gelangen.

Eine kurze Übersicht über die in verschiedenen Pflanzengattungen vorkommenden Eisenmengen gibt folgende Tabelle.

Es enthalten 1000 Teile Trockensubstanz Teile Eisenoxyd[1]):

1. Gräser.	
Hafer im Schossen	0,6
Sauergräser	1,8
2. Leguminosen.	
Rotklee in Blüte	0,7
Weißklee in Blüte	1,7
Erbsen in Blüte	0,6
Wicken	1,3
3. Hackfrüchte.	
s. o.	
4. Diverse sonstige Pflanzen und Pflanzenteile.	
Hopfen	1,7
Heidekraut	0,9
Farrenkraut	1,1
Moos	3,0
Eichenholz	0,03
Eichenrinde	0,04
Eichenblätter	0,40
Kiefernholz	0,01
Kiefernnadeln	1,40

Ersetzt kann das Eisen in gewissem geringen Grade, wie schon betont, werden durch das ihm chemisch sehr nahe

[1]) Nach Mayer, Agrikulturchemie, Band I.

Digitized by Google

stehende Mangan, und ist aus dieser Möglichkeit wohl auch die Nutzwirkung des Mangans in manchen Fällen zu erklären. In Frankreich wendet man jetzt der Frage der Manganernährung der Pflanzen größere Aufmerksamkeit zu, so daß auf eine baldige Bereicherung unserer Kenntnisse in dieser Beziehung zu hoffen ist.

Über die physiologische Rolle sonstiger Schwermetalle im Pflanzenorganismus weiß man, trotzdem sie sehr häufig beobachtet sind, nichts Genaues. Da sie keine notwendigen Bestandteile der Pflanzenasche bilden, dürfte ihnen auch eine entscheidende Bedeutung für den Lebensprozeß nicht zukommen, um so weniger, als sie in bestimmten Verbindungen die verderblichsten Giftwirkungen entfalten. Es sei nur an die Giftwirkung selbst minimaler Kupfersalzmengen im Boden auf die Vegetation erinnert. Die Beschreibung ihres oft gestaltverändernden Einflusses auf verschiedene Pflanzen muß einem späteren Abschnitt vorbehalten bleiben.

Von größter Wichtigkeit für das Pflanzenleben ist die Gruppe der Erdalkalimetalle, welche die Elemente Baryum, Strontium, Magnesium und Calcium umschließt. Die ersteren beiden scheiden, da man sie nicht einmal zu den nützlichen Aschenbestandteilen zählen kann, aus der Betrachtung aus.

Die Rolle des Magnesiums im Pflanzenleben ist seit lange schon ein Streitpunkt der Fachgelehrten gewesen, „et adhuc sub judice lis est". Allgemein überein stimmen die Ansichten nur darin, daß das Magnesium ein ganz unentbehrlicher Aschenbestandteil ist, welcher durch keinen anderen vertreten werden kann. Noch nie hat man in Topfversuchen und Wasserkulturversuchen bei gänzlicher Abwesenheit von Magnesium vermocht, auch nur annähernd normale Pflanzen zu erziehen und zu einem Abschluß der Entwicklung zu bringen.

Geringe Beigaben von Magnesiumsulfat, dem bekannten Bittersalz (Formel $MgSO_4$), genügten, um diese Krankheitserscheinungen zu beheben, wie sich die Form des Sulfats überhaupt als die geeignetste für die Aufnahme des Magnesiums durch die Wurzeln der Pflanzen herausgestellt hat,

Digitized by Google

während das Chlormagnesium durchweg als schädliche Verbindung gelten kann. Die Aufnahme aus dem Boden wird jedenfalls zum überwiegenden Teil durch allmähliche Löslichmachung wasserhaltiger Magnesiumsilikate durch die Tätigkeit der Wurzeln vor sich gehen.

Dem eben Gesagten entsprechend, ist das Magnesium bisher in jeder Pflanzenasche gefunden, obwohl seltener in größeren Mengen. Es enthielten z. B. 100 Teile Trockensubstanz bei

verschied. Gramineen	0,15—0,65	Teile	Magnesiumoxyd	(MgO)
verschied. Cariceen	0,30—0,35	„	„	„
Papilionaceen	0,25—0,85	„	„	„
Cruciferen	0,30—1,50	„	„	„
Cryptogamen	0,10—0,50	„	„	„

Die allgemeine Bedeutung der sehr leicht die verschiedensten Verbindungen eingehenden Magnesiumsalze für den Lebenschemismus der Pflanzen ist vielleicht darin zu suchen — es gilt dies ganz besonders auch für die des Blattgrüns entbehrenden niederen pflanzlichen Organismen — daß es in Bindung mit Phosphorsäure an dem chemischen Aufbau der Eiweißkörper und besonders der Eiweißsubstanzen der Zellkerne teilnimmt.

Eine besondere Bedeutung schreiben die neuesten, bereits oben erwähnten Untersuchungen Willstädters dem Magnesium für die grünen Pflanzen zu: Es scheint das Chlorophyll eine komplexe organische Magnesiumverbindung zu sein, „und damit zeigt sich wieder eine Möglichkeit von größtem Interesse. Gerade in letzter Zeit ist man auf die Eigenschaft der organischen Magnesiumverbindungen aufmerksam geworden, sehr reaktionsfähig zu sein und Synthesen komplizierter Stoffe leicht zu ermöglichen, die sonst nur sehr umständlich durchgeführt werden können. Diese sogenannte ‚Grignardsche Reaktion' hat sich in der synthetischen Chemie sehr schnell Bürgerrecht erworben. Es liegt nun sehr nahe, dem Magnesium im Chlorophyll dieselbe Funktion zuzuschreiben. Ist doch auch hier die Hauptsache die Synthese der einfachen Substanzen zu den komplizierten Pflanzen-

Digitized by Google

produkten. Dem gegenüber stände dann im Tierkörper als Sauerstoffüberträger das Eisen, um dort die charakteristischen Oxydations- und Abbauprozesse zu besorgen. Mit diesen Vorstellungen hätte man eine chemische Grundlage für die prinzipiellen Unterschiede im Leben der Tiere und der Pflanzen und damit für eins der grundlegenden Dinge in der lebenden Natur."

Eine Unterstützung dieser erst aus neuester Zeit datierenden Ansichten kann man in der Verteilung des Magnesiums auf die einzelnen Teile des Pflanzenkörpers erblicken, wie sie uns die Analyse kennen gelehrt hat.

Es enthalten z. B. 100 Teile Trockensubstanz von:

Kartoffelknollen	0,18%	MgO	(Magnesiumoxyd).
Kartoffelkraut	1,42%	„	„
Futterrunkeln	0,83%	„	„
Futterrunkelblätter	1,44%	„	„
Buchenholz	0,06%	„	„
Buchenblätter	0,30%	„	„

Weniger stark sind die Differenzen des Magnesiumgehalts bei den Gramineen, wo sie sogar oft ins Gegenteil umschlagen.

Es enthalten z. B. 100 Teile Trockensubstanz von:

Winterweizen, grün	0,15	Teile	MgO
„ Stroh	0,13	„	„
„ Körner	0,25	„	„
Hafer, grün	0,25	„	„
„ Stroh	0,26	„	„
„ Körner	0,22	„	„
Mais, grün	0,65	„	„
„ Körner	0,23	„	„

Hier sind die Körner manchmal nicht nur ebenso reich an Magnesia, wie die grünen Pflanzenteile, sondern mitunter reicher, oder sie bleiben doch nicht weit in ihrem Gehalt dahinter zurück. Dieser Widerspruch ist aber deswegen nur ein scheinbarer, weil der Eiweißgehalt der Körner, mit welchem, wie oben auseinandergesetzt, das Magnesium in Beziehung steht, ein sehr hoher ist und auf diese Weise der Anhäufung von Magnesium in den grünen Pflanzenteilen die Wage zu halten vermag.

Digitized by Google

Man kann sogar annehmen, daß die Anhäufung dieses Elements in dem Samen auch hier der Chlorophyllproduktion dient, indem es den Keimling beim Austreiben sofort mit dem nötigen Magnesium versieht und ihn damit von der bei Beginn der Vegetation vielleicht nicht hinreichenden Versorgung vom Boden aus unabhängig macht.

Äußerst interessante Wechselbeziehungen scheinen zwischen dem Magnesium und dem letzten zu besprechenden Erdalkalimetall zu bestehen, dem Calcium. Es scheint nämlich nur dann jeder der beiden Stoffe seine volle günstige Wirkung zu entfalten, wenn auch der andere in einem für die einzelnen Pflanzengattungen, sogar Pflanzenarten, bestimmten, sonst aber äußerst wechselnden Verhältnis im Nährboden vorhanden ist. Es ist dies nicht so zu verstehen, als wenn dieses gegenseitige Verhältnis stets streng gewahrt sein müßte, sondern nur so, daß gewisse untere Grenzen und vielleicht auch obere Grenzwerte des gegenseitigen Mengenverhältnisses nicht unter- resp. überschritten werden dürfen. Diese von Loew besonders vertretene Ansicht findet zurzeit noch manchen Widerspruch. Immerhin hat sie die Aufmerksamkeit vieler Fachforscher auf sich gezogen, da, wenn ein solches Verhältnis der Nährstoffwirkung bestände, diesem Umstande auch eine hohe praktische Bedeutung unter Umständen zukommen könnte. Bei dem regen Interesse an der Frage ist auf eine Klärung in vielleicht nicht ferner Zeit zu hoffen.

Das Calcium in seinen Beziehungen zum Pflanzenchemismus nimmt eine weniger unklare Stellung als das Magnesium ein.

Im Boden wesentlich als kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) enthalten, gelangt es, durch das kohlensäurehaltige Wasser des Bodens oder auch die sauren Wurzelausscheidungen der Pflanzen selbst in Lösung gebracht, aus dieser an sich unlöslichen Form zur Aufnahme ebenso wie aus der Form des gleichfalls weit verbreiteten drei- und zweibasisch phosphorsauren Kalks. Auch der salpetersaure und schwefelsaure Kalk (Gips) sind geeignete Formen zur Aufnahme durch die Pflanzen. Direkt schädlich, sogar sehr stark giftig wirkt dagegen, in

Digitized by Google

Analogie zum Chlormagnesium, das Chlorcalcium. In Bindung an Kieselsäure, als Silikat, ist das Calcium so gut wie ganz unlöslich, mithin trotz weiter Verbreitung verhältnismäßig wertlos für die Pflanze.

Schon der Keimpflanze müssen, sofern es sich um blattgrünhaltige Pflanzen handelt, mögen es nun Algen oder höhere Pflanzen sein, gewisse Mengen von Kalkverbindungen zur Verfügung stehen, wenn sie sich gut entwickeln soll. Ohne Kalk ist jede Entwicklung einer grünen Pflanze ausgeschlossen. Niedere, chlorophyllose pflanzliche Organismen dagegen vermögen in Nährlösungen sehr wohl ohne Kalk auszukommen und zeigen in ihrer Asche auch in der Natur oft einen minimalen Kalkgehalt, während der der grünen Gewächse durchweg ein verhältnismäßig sehr hoher ist. Als besonders in die Augen springendes Beispiel hierfür sei die Kleeseide (Cuscuta Europaea) genannt, welche zwar keineswegs als niedere Pflanze zu bezeichnen ist, aber doch des Blattgrüns so gut wie ganz entbehrt. Trotzdem sie auf der sehr kalkreichen Kleepflanze schmarotzt, ist ihr Gehalt an Kalk dennoch ein verschwindend geringer. Während Rotklee durchschnittlich 2,4% Calciumoxyd (CaO) in seiner Trockensubstanz enthält, ergibt die Analyse des Schmarotzers nur 0,05—0,1% CaO.

Deuten schon diese Beobachtungen auf einen engen Zusammenhang zwischen Blattgrün und Calcium hin, so wird der Beweis des Zusammenhangs zu einem schlagenden durch die Tatsache, daß die farblosen Teile panachierter Blätter neben verhältnismäßig mehr Phosphorsäure und Kali erheblich weniger Kalk enthalten als die normal entwickelten. Zudem zeigt jede Analyse von Pflanzenteilen, daß alle blattartigen, d. h. grünen Organe sehr reich an Calcium sind, während der Kalkgehalt der Knollen, Wurzeln und Samen ein relativ recht geringer ist.

Es enthalten z. B. 100 Teile Trockensubstanz von:

Kartoffelknollen	0,1	Teile CaO
Kartoffelkraut	3,0	„ „
Runkeln	0,3	„ „

Digitized by Google

Runkelblätter	1,7	Teile CaO
Weizenkörner	0,07	„ „
Weizenblätter und -halme, grün.	0,50	„ „
Buchenholz	0,13	„ „
Buchenblätter	3,10	„ „

Es versteht sich demnach von selbst, daß Pflanzen mit sehr stark entwickelten Blattorganen sich durchweg durch einen hohen Kalkgehalt ihrer Asche auszeichnen und auch besonders auf kalkreichen Standorten gedeihen. Man hat entsprechend in früherer Zeit derartige Pflanzen, wie die verschiedenen Kleearten und verwandten Leguminosen, Tabak usw. direkt als Kalkpflanzen bezeichnet. Über die Verteilung des Kalkgehalts auf verschiedene Pflanzengattungen gibt die folgende kurze Zusammenstellung, die das eben Angeführte belegt, Aufschluß.

Es enthalten 100 Teile Trockensubstanz Teile CaO (Calciumoxyd):

Gramineen	0,4—1,0
Cyperaceen und Cariceen	0,4 —0,6
Papilionaceen	1,0 —4,0
Cruciferen	1,5 —2,0
Diverse Waldbäume	0,06—0,8
Cryptogamen	0,00—0,9 [1])

Um noch einige wichtigere Einzelpflanzen anzuführen, enthalten z. B. in der Trockensubstanz:

Rotklee in der Blüte	2,40%	CaO
Wundklee in der Blüte	3,90%	„
Erbsen in der Blüte	1,90%	„
Erdkohlrabiblätter	5,62%	„
Roggenstroh	0,40%	„
Tabak	7,70%	„
Äpfel	0,06%	„
Moos	0,30%	„
Rotkleesamen	0,28%	„

[1]) Bei Pilzen ist nach Molisch das Calcium durch Magnesium voll vertretbar, so daß sich hin und wieder ganz kalkfreie Pilze finden oder doch wenigstens künstlich erzielen lassen.

Digitized by Google

Wundkleesamen	0,30%	CaO
Erbsensamen	0,13%	„
Erdkohlrabiwurzeln	0,80%	„
Roggenkörner	0,06%	„
Tee	0,50%	„
Mandel	0,50%	„
Farrnkraut	0,80%	„

Es liegt die Annahme nahe, daß vielleicht das Calcium in ähnlicher Weise, wie es das Magnesium tut, an dem chemischen Aufbau des Chlorophyllmoleküls teil hat. Gewißheit hierüber vermochten bisher weder Analysen noch Kulturversuche zu bringen.

Mit dieser hypothetischen Teilnahme am Produktionsprozeß selbst, der sich in der Pflanze abspielt, ist aber die Rolle des Calciums nicht erschöpft. Ihm fällt vielmehr nach den hochinteressanten Untersuchungen von Loew die äußerst wichtige Rolle zu, die bei dem Produktionsvorgang in der Pflanze abfallenden unvermeidlichen, für die Pflanze wertlosen, ja schädlichen Nebenprodukte zwar nicht zu entfernen, wohl aber unschädlich zu machen. Es muß hier den Erläuterungen des nächsten Bändchens etwas vorgegriffen werden.

Die Pflanze erzeugt aus der Kohlensäure der Luft und dem in ihr zirkulierenden Wasser durch die Vermittelung des Chlorophylls die sogenannten Kohlehydrate, besonders Stärke und Zucker. Ein Nebenprodukt der Bildung ist dabei Oxalsäure, welche ein starkes Gift vorstellt und besonders schädlich auf die Zellkerne wirkt. Je intensiver die Assimilation, wie man die Verarbeitung von Kohlensäure und Wasser zu Kohlehydraten nennt, vor sich geht, desto größer sind natürlich auch die gebildeten Mengen von Oxalsäure, desto schädlicher müßten sich die Wirkungen dieses Abfallproduktes äußern, wenn es der Pflanze nicht möglich wäre, ihm die Fähigkeit, zu schaden, zu nehmen. Hierzu nun dient das Calcium der Pflanze, indem es sich mit der Oxalsäure zu Calciumoxalat verbindet.

Diese Verbindung ist äußerst schwer löslich. Jedenfalls vermögen die Pflanzensäfte sie gar nicht zu lösen und die giftige

Digitized by Google

Oxalsäure ist daher in dieser Form unschädlich gemacht, denn, wie schon oben zitiert: Corpora non agunt, nisi fluida!

Das Calciumoxalat ist in den Zellen der Blattorgane oft in reichen Mengen abgelagert, und zwar entweder in Form von Einzelkristallen, die manchmal, z. B. bei Runkelrüben, ganz beträchtliche — natürlich mikroskopisch gesprochen — Größe erreichen, oder aber in Form von Raphiden, kleinen Stäbchen von nadelförmiger Gestalt, welche in ganzen Bündeln in einer Zelle liegen. Unsere nebenstehende Abb. 2 gibt davon eine Vorstellung (r).

Abb. 2.

Daß auch aus diesem Grunde Pflanzen mit starken Blattorganen zu „Kalkpflanzen" werden, da eben viele schädliche Stoffwechselprodukte unschädlich zu machen sind, versteht sich von selbst, ebenso, daß gerade die Blätter am reichsten an Kalkverbindungen sein müssen. Hinzu kommt, daß natürlich der Kalk, da nicht löslich, in Form des Oxalats natürlich auch nicht wanderungsfähig ist und sich daher in größerer Menge in den assimilierenden Organen anhäufen muß.

Andere Gesichtspunkte als die Neutralisierung schädlicher Stoffwechselprodukte kommen noch bei Moosen und Algen in Frage. Hier dienen Ausscheidungen und Einlagerungen von kohlensaurem Kalk als Gerippe, das dem schwanken Pflanzenkörper eine Festigkeit verleiht, die er auch beim Leben im Wasser nicht entbehren kann und die ihm die zarten Zellreihen seines Leibes ohne Ein- oder Anlagerung mineralischer Schutzschichten nicht geben können. Als besonders charakteristisches Beispiel seien dafür die Characeen oder Armleuchtergewächse genannt, bei welchen sich beim Trocknen der hohe Kalkgehalt schon dem Gefühl und Auge durch Brüchigkeit der Pflanzen und weiße Verfärbung dokumentiert. Es wird auf diese mehr morphologische Seite der Kalkwirkung weiter unten des näheren einzugehen sein.

Digitized by Google

Von Erdmetallen kommt in größerer Verbreitung nur das Aluminium im Pflanzenreiche vor. In vielen Fällen, wo die Analyse einen Gehalt an Aluminium ergab, wird dieser jedoch auf nicht genügende Reinigung des Untersuchungsmaterials, also auf mit untersuchte anhängende Erdreste zurückzuführen sein. Eine hohe pflanzenphysiologische Bedeutung kommt jedenfalls trotz weiter Verbreitung des Elements diesem nicht zu und führen auch alle Versuche in Wasserkulturen usw. zu demselben Resultat. „Man wird wohl kaum irre gehen, wenn man annimmt, daß diejenigen Pflanzen Tonerde in sich aufnehmen, die starke Säuren in ihren Wurzeln (oder dem entsprechenden Organ) enthalten, und daß der Gehalt an Aluminium demnach als in gewissem Sinne zufällig aufzufassen sei" (Mayer, a. a. O.).

Der Gehalt der Nutzgewächse an Aluminium rechnet nach wenigen Zehntel Prozent der Trockensubstanz und wird für dasselbe Gewächs von verschiedenen Autoren so verschieden angegeben, daß Durchschnittszahlen unzulässig sind.

Höhere Gehalte werden zuweilen in Vitaceen, z. B. in den gewöhnlichen Weinbeeren, beobachtet. Auch Leguminosen führen häufiger größere Mengen des Elements in ihrer Asche, und zwar besonders Luzerne und Lupine, „für welche ein größerer Gehalt an Wurzelsäure ohnehin charakteristisch ist (s. o.)". Aluminiumpflanzen, wenn man so sagen darf, sind auch die Flechten und vor allem die Bärlappgewächse, von welch letzteren einige Arten so viel essigsaure respektive weinsaure Tonerde enthalten, daß ihr Saft wie Färberbeize benutzt wird. Die tropischen und subtropischen Alaunbäume (Symplocosarten) endlich speichern Tonerde sogar klumpenweise in ihren Blattzellen auf.

Wohl infolge der leichten Löslichkeit und daher Aufnehmbarkeit der Mehrzahl ihrer Verbindungen ist für die Lebensprozesse der Pflanzen die Gruppe der Alkalimetalle von höchster Bedeutung. Lithium findet sich zwar weit verbreitet, entsprechend seinem reichlichen Vorkommen im Erdboden, aber keineswegs regelmäßig und in großen Mengen in Pflanzenaschen vor, so daß man diesem Metall weder eine

Digitized by Google

unentbehrliche noch auch nur nützliche Rolle, wenn auch vielleicht nicht eine gerade schädliche, wie manche Autoren es wollen, zuschreibt. Dagegen ist das Kalium als ein absolut unentbehrlicher Aschenbestandteil aller Pflanzen, vom Bazillus bis zum Urwaldriesen, zu betrachten. Noch in keiner Asche eines pflanzlichen und folgerichtig auch tierischen Wesens hat man dieses Element vermißt. Kein pflanzliches Lebewesen gedeiht in künstlicher Kultur ohne Beifügung von Kaliverbindungen zur Nährlösung, und zwar stockt die Entwicklung stets bereits in den ersten Stadien, so daß damit schon auf die nahe Beziehung des Kaliums zur eigentlichen Lebenssubstanz hingewiesen ist.

Abb. 3.

Es scheint das Kalium in hohem Grade an der Synthese der Plasmakörper beteiligt zu sein. In welcher Form dies der Fall ist, weiß man heute allerdings noch nicht. Jedenfalls ist es aber zur Bildung der Assimilationsprodukte des Chlorophylls, also der Stärke in erster Linie, vollständig unentbehrlich, was zahlreiche exakte Versuche bewiesen haben. Auch nimmt es an der Wanderung und Umwandlung der Kohlehydrate in der Pflanze in hervorragender Weise aktiv teil. Überall treffen wir, wie bereits Liebig hervorgehoben hat, die Kohlehydrate mit dem Kali vergesellschaftet, und besonders die Ansammlung von Kohlehydraten in den Speicherorganen der Pflanzen, den Wurzeln, Knollen und Samen, ist ganz und gar von der verfügbaren Kalimenge abhängig.

Aus diesen Beobachtungen erklärt sich naturgemäß auch das völlige Versagen sämtlicher Pflanzen bei Ausschluß von

Digitized by Google

Kaliumverbindungen von der Ernährung. Das dadurch bedingte sofortige oder doch sehr schnelle Aufhören der Assimilation, d. h. der Lieferung von Material zum Auf- und Ausbau des Pflanzenkörpers, und die gleichzeitig eintretende Unbeweglichkeit etwa schon vorhandenen Baumaterials setzen natürlich sehr bald jedem Wachstum, ja jeder Lebenstätigkeit ein Ziel. Wie schroff dieser Vorgang in Erscheinung tritt, erläutert beistehende Abb. 3 besser als viele Worte es tun würden (I = mit Kali-, II = ohne Kaliverbindungen).

Auf der anderen Seite gibt die enge Wechselbeziehung zwischen Produktion von Kohlehydraten und Kaliaufnahme durch die Pflanzen die Erklärung dafür, daß ganze Gruppen von Gewächsen, besonders die Hackfrüchte, besonders hohe Ansprüche an die Ernährung mit Kaliumverbindungen stellen und Kali in solchen Mengen in ihrem Leibe aufspeichern, daß es oft die Hälfte des Aschengehalts ausmacht, so daß sie den ihnen von der Wissenschaft gegebenen Namen „Kalipflanzen" mit vollem Rechte tragen. Es sind dies eben Pflanzen, die sich durch die Bildung besonders großer Mengen von Kohlehydraten auszeichnen, wie dies ja auch von der Kartoffel und Zuckerrübe z. B. zur Genüge bekannt ist. Zur weiteren Erläuterung diene die folgende kleine Tabelle, welche dieses Verhältnis berücksichtigt. Es enthalten in 100 Teilen Trockensubstanz

Cerealien	70,0—74,08 N fr. Extraktstoffe[1]),		
	2,0—3,0 Asche,	0,3—0,7 Kali (K_2O)	
Leguminosensamen . .	40,0—65,0 N fr. Extraktstoffe,		
	2,7—4,0 Asche,	1,0—1,5 Kali (K_2O)	
Kartoffelknollen	85,0 N fr. Extraktstoffe		
	3,8 Asche,	2,3 Kali (K_2O)	
Zuckerrübenwurzeln . .	84,0 N fr. Extraktstoffe,		
	3,9 Asche,	2,2 Kali (K_2O)	

Der Vollständigkeit halber seien noch einige weitere Daten über den Kaligehalt wichtiger Gewächse mitgeteilt:

[1]) Stickstofffreie Extraktstoffe = vorwiegend Kohlehydrate.

Digitized by Google

Heu	1,2	Möhren	2,0
Süße Gräser	2,4	Roggenstroh	0,9
Saure Gräser	2,1	Haferstroh	2,0
Rotklee in der Blüte	2,1	Erbsenstroh	1,2
Erbsen in der Blüte	2,8	Bohnenstroh	2,3
Raps in der Blüte	2,7	Tee	1,4
Roggenkörner	0,7	Tabak	4,0
Weizenkörner	0,6	Buchenholz	0,15
Gerstenkörner	0,5	Buchenblätter	0,80
Haferkörner	0,5	Fichtenholz	0,04
Erbsen	1,2	Fichtennadeln	0,80
Bohnen	1,5	Moos	0,40
Futterrunkeln	4,0	Farnkraut	2,4

Es ist bereits betont, daß man über die Form, in welcher das Kalium im Leibe der Pflanzen enthalten ist, wenigstens der Hauptsache nach nur Vermutungen hegen kann. Ein Teil desselben ist als an organische Säuren gebunden zu betrachten, die im Stoffwechselprozeß der Pflanzen entstehen und Umwandlungs- resp. Übergangsprodukte der verschiedenen Kohlehydrate aus einer Form in die andere darstellen. Von derartigen Säuren, die uns im zweiten Bändchen des näheren beschäftigen werden, kommen besonders Oxalsäure, Weinsäure, Apfelsäure und Zitronensäure in Betracht.

In einer entsprechenden Bindung verleiht anscheinend das Kalium, wenn es in größerer Menge vorkommt, den Tabakblättern ihre gute Brennbarkeit, was für die Praxis des Tabakbaues von größter Bedeutung ist.

Aufgenommen wird das Kalium aus dem Boden in sehr verschiedenen Formen. Es ist für die Pflanze sowohl als kieselsaures, wie als schwefelsaures, salpetersaures, phosphorsaures und salzsaures Kali verwertbar. Nur das stark basische kohlensaure Kali hat sich als unbrauchbar erwiesen, doch kommt diese Form unter natürlichen Verhältnissen wohl auch kaum jemals in Betracht.

Bemerkenswert — freilich nicht allein vom Kalium, aber doch von diesem in besonders hohem Grade — ist die eigentümliche Erscheinung, daß gegen Schluß der Vegetations-

Digitized by Google

periode ein Teil der von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommenen Kaliummengen durch die Wurzeln wieder aus dem Pflanzenleibe auswandert. Obwohl hin und wieder schon vor längerer Zeit von einigen Autoren flüchtig berührt, wendet man erst in letzter Zeit dieser Frage ein höheres Interesse zu, und sind, wenn auch vielleicht nicht besonders für die Praxis, so doch für die Theorie wertvolle Beobachtungen auf diesem Gebiete noch zu erwarten.

Das Natrium, dessen Aufnahme aus dem Boden in derselben Form wie die des Kaliums erfolgt und das im Boden selbst eher mehr als weniger verbreitet ist, als das Kalium, ist zu den notwendigen Stoffen der Pflanzen nach dem heutigen Stande unseres Wissens kaum zu rechnen. Es gibt allerdings keine Pflanze, in deren Asche sich unter natürlichen Umständen nicht ein gewisser, oft nicht unbeträchtlicher Gehalt an diesem Elemente nachweisen ließe. So enthalten z. B. in 100 Teilen Trockensubstanz:

Rotklee in der Blüte . .	0,14	Teile	Natron (Na_2O)
Weißklee in der Blüte . .	0,50	„	„ „
Raps in der Blüte . . .	0,27	„	„ „
Kartoffelknollen	0,1	„	„ „
Kartoffelkraut	0,2	„	„ „
Eichenholz	0,01	„	„ „
Roggenkörner	0,04	„	„ „
Haferkörner.	0,07	„	„ „
Roggenstroh	0,10	„	„ „
Haferstroh	0,25	„	„ „
Kiefernholz	0,003	„	„ „
Tabak	0,60	„	„ „
Tee	1,10	„	„ „
Moos	0,22	„	„ „

Trotzdem gelingt es, in künstlicher Nährlösung jedes Gewächs unter Ausschluß des Natriums zu voller Entwicklung zu bringen. Wenn Natrium geboten wird, findet eine Anhäufung des zur Aufnahme gelangten Stoffes in irgend einem Pflanzenteile, aus der man einen Schluß für die physiologische Bedeutung des Elementes ziehen könnte, nicht statt, von

Digitized by Google

einer geringen Anreicherung der Blätter und verwandten Organe abgesehen, die sich einfach durch Konzentrierterwerden der aufgenommenen Nährflüssigkeit infolge der Verdunstung erklären dürfte.

Man glaubte sich deswegen berechtigt, das Natrium einen zufälligen Bestandteil der Pflanzenasche nennen zu dürfen, ja sogar, ihm auch jeden Nutzen für die Pflanzen absprechen zu können. Neuerliche Versuche mit Rübenarten, und zwar speziell Runkelrüben, haben aber doch zu einer wesentlichen Modifikation dieser fast schon zum Dogma gewordenen Anschauungen genötigt.

Es hat sich nämlich bei diesen Versuchen herausgestellt, daß das Natrium bei Runkelrüben besonders, welche oft 1—2% ihrer Trockensubstanz von diesem Elemente enthalten, dann aber auch bei einzelnen Gramineen eine ganz entschieden nützliche Rolle spielt. Ob an sich, oder nur dadurch, daß es in gewissem Grade das Kalium vertritt — es wird weiter unten von diesem Vorgang der Vertretung der Elemente untereinander noch des näheren die Rede sein müssen — bleibt dahingestellt. Die Tatsache besteht jedenfalls, daß die günstige Wirkung in oft weitgehendem Grade vorhanden ist und sich bisher nur der Beobachtung durch ungünstige Umstände entzogen hat. Es sollte meines Erachtens ein Umstand, welcher oft in gegenteiliger Beziehung zur Konstruktion eines Gegensatzes zwischen Tier und Pflanze ausgenutzt ist, zur Vorsicht mahnen, das Natrium so leicht abzutun.

Kein Tier kann ohne Natriumverbindungen existieren, daran läßt die Tierchemie und Physiologie nicht den geringsten Zweifel. Die Tiere erhalten unter gewöhnlichen Umständen, wenn nicht gerade salzhaltige Ablagerungen ihnen zufällig zur Verfügung stehen, ihren ganzen Bedarf an Mineralstoffen, also auch an Natrium, durch die verzehrten Pflanzen, sei es direkt, sei es indirekt. Es wäre nun eine große Inkonsequenz der natürlichen Entwicklung, ohne mit diesem Ausdruck etwa in unfruchtbare teleologische Spekulation verfallen zu wollen, wenn sich ein Stoff in dem Tierreiche zum Lebensbedürfnisse entwickelt hätte, dessen Zuführung auf dem Wege über den

Digitized by Google

Pflanzenleib, auch weiteste Verbreitung im Boden und die Tatsache der regelmäßigen Aufnahme durch die Pflanzen vorausgesetzt, im Grunde mehr oder weniger Sache des bloßen Zufalls sein sollte. Die Annahme, daß das Natrium auch im Pflanzenleben eine, wenn auch heute noch unbekannte wichtige physiologische Rolle zu erfüllen hat, liegt jedenfalls nahe genug, näher als die gegenteilige völlige Negierung dieser Bedeutung. Dies ist um so mehr der Fall, als tatsächlich bei keinem Versuch bisher ein völliger Ausschluß der Natriumverbindungen erreicht ist, da die Samen stets etwas, und seien es noch so geringe Mengen, von diesem Elemente enthalten. Die Tatsache der katalytischen und Enzymwirkungen, bei denen es sich ja auch um kleinste Mengen des wirksamen Stoffes handelt, sowie der nicht zu leugnenden oligodynamischen Wirkungen vieler, vielleicht aller Elemente überhaupt, sollte doch zu einiger Vorsicht in dieser Hinsicht mahnen.

An warnenden Stimmen hat es in der Tat nicht gefehlt, doch glaubte man bisher, ihnen kein Gewicht gegenüber der Einstimmigkeit der übrigen Autoren über die Bedeutungslosigkeit des Natriums beilegen zu müssen. Immerhin kann eine Revision der Anschauungen in dieser Richtung kaum schaden.

Die Heimat aller Organismen ist das Meer, und es wäre seltsam, wenn dessen charakteristischstem Stoffe, dem Natrium in seinen zahlreichen Verbindungen, im Lebenschemismus seiner Geschöpfe keine Rolle zugefallen sein sollte.

Sind demnach die physiologischen Wirkungen der Natriumverbindungen noch als ungeklärt zu betrachten und als ein Problem der chemischen Forschung der Zukunft, so treten dafür die gestaltgebenden Wirkungen dieses Elementes auf die Pflanzen desto deutlicher ins Auge, ja sie drücken sogar ganzen großen Länderstrichen einen charakteristischen Stempel auf. Ihre Behandlung bleibe einem späteren Kapitel vorbehalten.

Damit ist die Reihe der Metalle in ihren Beziehungen zur Physiologie der Pflanzen erschöpft. Physiologische Wirkungen von den anderen, als Aschenbestandteile oben genannten Metallen sind nicht bekannt oder beanspruchen doch wenigstens allgemeinere Bedeutung nicht.

Digitized by Google

b) Die Metalloide der Pflanzenasche.

Obwohl im Molekül der Mehrzahl auch aller mineralischen Verbindungen enthalten, welche im Leben der Pflanze eine Rolle spielen, bzw. ihre Asche zusammensetzen, treten Wasserstoff und Sauerstoff doch der Hauptsache nach in Form des Wassers in den Lebensprozeß der Pflanzen ein, um im Verein mit Kohlenstoff und Stickstoff die organischen Substanzen des Pflanzenleibes, die Träger des Lebens, zu bilden. Die für ihre Aufnahme und Verwertung in Betracht kommenden Umstände, vor allem die aus ihnen im Pflanzenleibe hervorgehenden Produkte, sind so außerordentlich mannigfaltiger Natur, daß diesen organogenen Elementen, wie man sie auch genannt hat, eine besondere Abhandlung gewidmet werden muß.

Das Wort „organogen", d. i. zur Erzeugung organischer Stoffe dienend, ist eigentlich eine Ungenauigkeit, denn „organogen" sind schließlich alle der Pflanze nützlichen und unentbehrlichen Elemente. Als besonders charakteristisch für die organischen Stoffe sind allerdings die genannten vier Metalloide zu bezeichnen.

Immerhin wäre dies zu einer Absonderung der vier Elemente von den übrigen noch kein hinreichender Grund. Es kommt hinzu, daß diese Elemente beim Verbrennen sich verflüchtigen bis auf gewisse Mengen Sauerstoff und Wasserstoff, soweit sie zur Konstitution der Moleküle der Aschenbestandteile gehören. So hat der Wunsch einer die Behandlung derartiger Fragen erleichternden Unterscheidung von Elementgruppen zur Wahl von Ausdrücken geführt, die, in voller Schärfe wenigstens, für die beiden Gruppen keineswegs zutreffen. Ein schroffer Gegensatz besteht dementsprechend in Wirklichkeit nicht zwischen beiden Stoffgruppen, wie es ja in der Natur überhaupt kaum eine scharfe Grenze gibt. Stets ist diese Grenze erst durch den katalogisierenden Geist des Menschen künstlich zum eigenen Bedarf geschaffen, gewissermaßen als Krücke zur Schaffung einer unentbehrlichen Übersichtlichkeit und zur Erleichterung des Vorwärtsschreitens

Digitized by Google

auf dem Wege des Verständnisses. Es soll dabei nicht verkannt werden, daß gerade dieser konsequenten Durchführung scharfer Begriffsbestimmung und Trennung unsere moderne Wissenschaft in weitestem Sinne des Wortes erst alles verdankt, was sie ist, obwohl andererseits solche künstlich erreichten Unterscheidungen in Verbindung mit blindem Autoritätsglauben mitunter auch zu beharrlichen Hemmnissen auf dem Wege des Fortschritts geworden sind.

Wie sich die Fachgelehrten über die Bedeutung des Natriums im Pflanzenleben noch nicht ganz einig sind, so sind sie es auch nicht über die des Metalloids, das mit dem Natrium am häufigsten in der Natur verbunden vorkommt, des Chlors. Wie der Natriumgehalt, ist auch der Gehalt aller Pflanzen an Chlor ein keineswegs unbedeutender. Wie dort keine Anhäufung des Metalls in bestimmten Organen sich konstatieren ließ und damit kein Fingerzeig auf die besondere Bedeutung des Stoffes für das Pflanzenleben hinwies, so auch beim Metalloid. Auch das Chlor ist ziemlich unterschiedslos in den einzelnen Organen der Pflanzen verbreitet. Um einige Beispiele zu zitieren:

Es enthalten in 100 Teilen Trockensubstanz Teile Chlor:

Gras	0,30	Runkeln	0,75
Wicken (blühend)	0,26	Runkelblätter	2,30
Erbsen (blühend)	0,24	Kartoffelknollen	0,12
Raps (blühend)	0,60	Kartoffelblätter	0,50
Weizenkörner	0,01	Buchenblätter	0,03
Weizenstroh	0,10	Kiefernnadeln	0,07

Aus der Reihe heraus fällt nur die Runkelrübe mit ihrem hohen Chlorgehalt der Blätter, während sonst, wenn man namentlich die verschiedenen Gehalte an Gesamtasche (s. o.) in Betracht zieht, die Menge des Chlors in den einzelnen Pflanzen verhältnismäßig wenig schwankt.

Es kommt in der Tat dem Chlor für diese Pflanzen und ihre verwandten Arten, wenn es in Düngemitteln gegeben wird, die Wirkung zu, die Quantität des Ertrages sehr wesentlich zu steigern, die Qualität dagegen, z. B. den Zuckergehalt, Stärkegehalt usw., sehr zu verringern. Letzteres gilt in ganz

Digitized by Google

besonders hohem Grade bei Kartoffeln, welche in ihren Knollen bei reichlicher Anwesenheit von Chlor sehr wenig Stärke ablagern, allerdings meist auch im Ertrage zu wünschen übrig lassen.

Es weist dieser Umstand, wie auch von zahlreichen Autoren verschiedentlich betont ist, auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Chlor und den Kohlehydraten hin. Man nimmt an, daß das Chlor, und zwar anscheinend an Calcium gebunden, den Kohlehydraten ihre Wanderungsfähigkeit im Pflanzenkörper verleiht oder diese Eigenschaft doch mindestens weitgehend begünstigt. Es würden demnach bei reichem Chlorgehalt in Kartoffeln und Rüben die Kohlehydrate einfach nicht in die Form von Zucker resp. Stärke übergehen, sondern leicht löslich bleiben und damit nicht speicherfähig werden.

Es gilt offenbar aber nur für einen extrem hohen Chlorgehalt des Bodens und damit der Pflanzen, daß die Chloride direkt schädlich im Pflanzenorganismus wirken. Denn bei gänzlichem Fehlen des Chlors in der Nährflüssigkeit hat man z. B. bei Buchweizen äußerst mangelhafte Blütenbildung beobachtet, die sich wohl mit Recht, den Zusammenhang des Chlors mit der Wanderungsfähigkeit der Kohlehydrate als sicher angenommen, dadurch erklären läßt, daß die Versorgung der Blütenanlage mit Nährstoffen infolge der geringen Wanderungsfähigkeit derselben eine unzureichende war. Damit würde das Chlor in die Reihe der nützlichen Elemente, wenn auch nur in einzelnen Fällen, einrücken.

Denn es sind auch bei gänzlichem Ausschluß des Chlors, allerdings immer von den geringen in Samen usw. stets vorhandenen Mengen abgesehen, in vielen Fällen durchaus normale Pflanzen erhalten und voll zur Entwicklung gebracht worden, so daß man von der Unentbehrlichkeit dieses Bestandteils für den Chemismus der Pflanzen kaum sprechen kann. Zu berücksichtigen ist auch beim Chlor wie beim Natrium die Parallele zum Tier. Auch das Chlor kann kein tierischer Organismus entbehren, ein Umstand, der auch für die Beurteilung der Rolle im Pflanzenchemismus zu denken geben

Digitized by Google

sollte. Bei niederen chlorophyllosen Organismen hat man freilich oft das Chlor nicht gefunden, doch sind wohl Versuchsfehler nicht ganz ausgeschlossen. Andererseits darf man die Vorliebe bestimmter „Salzpflanzen" für chlornatriumhaltige Böden nicht zu hoch bewerten, da es sich, wie Mayer sehr treffend meint, wohl weniger um eine eigentliche Vorliebe der Pflanzen für diesen Standort, als einfach um eine bessere Anpassung, die andere Gewächse noch nicht besitzen, handelt (s. u.).

Vom Standpunkte des Ackerbauers wird man freilich mehr von einem schädlichen Chlorgehalt der Pflanzen zu sprechen geneigt sein, wie schon oben betont, da vielfach Verschlechterung der Qualität der Ernteprodukte mit hohem Chlorgehalt einhergeht. Ganz besonders trifft dies vom Tabak zu, für dessen Güte der geringere oder höhere Chlorgehalt einen direkten Maßstab bildet. Setzt doch schon ein mittlerer Chlorgehalt die Brennfähigkeit trotz entgegenwirkenden hohen Gehalts an Kalium bedeutend herab.

Im Pflanzenorganismus dürfte das Chlor der Hauptsache nach an die Alkalimetalle Kalium und Natrium gebunden vorkommen, in welcher Form es auch zuweilen Effloreszenzen an xerophilen Pflanzen usw. bildet, die durch ihre Hygroskopizität für diese Gewächse dürrer Gegenden von höchster Wichtigkeit sind, da sie sie mit Feuchtigkeit versorgen. Ob organische Chlorverbindungen sich in der Pflanze finden, ist zurzeit noch unentschieden.

Die Aufnahme aus dem Boden erfolgt in Form gesättigter Verbindungen und zwar vorwiegend als Kalium- und Natriumchlorid.

Die für das Chlor geltende Mahnung zu vorsichtiger Beurteilung seiner Rolle im Pflanzenleben hat eine ganz besondere Berechtigung beim Fluor. Man hat lange Zeit diesen Stoff, der in weiter, wenn auch nicht gerade reicher Verbreitung überall vorkommt, als einen ganz indifferenten Gemengeteil des Bodens und der Pflanzensubstanz behandeln zu dürfen geglaubt, um so mehr, da er auch nur ganz geringe Bruchteile von Prozenten der Pflanzenasche ausmacht.

Digitized by Google

Zudem gelingt es sehr wohl, Pflanzen ohne Fluor in Nährlösungen zu normaler Entwicklung zu bringen. Trotzdem erheischt, wie Mayer schreibt, die „Bedeutung des Fluors als Pflanzennährstoff dringend eine Bearbeitung, da neuerdings die Aufmerksamkeit auf diesen Aschenbestandteil wieder dadurch gelenkt ist, daß man die desinfizierende Kraft von Fluorsalzen erkannte. Die Lebensfeindlichkeit gerade den niederen Organismen gegenüber scheint sich zu einer Waffe der höheren gestalten zu sollen, da, wo sie bei entstehenden Krankheiten gegenüber jenen zu streiten haben." Beobachtungen aus dem Tierreiche, wo kranke Zähne weniger Fluor enthalten als gesunde, sind in gleicher Richtung zu deuten.

Ähnliche Gesichtspunkte, d. h. Aufnahme durch die Pflanzen zum Zwecke des Schutzes gegen Angriffe tierischer oder pflanzlicher Schädlinge gelten vielleicht auch für das Vorkommen der beiden Elemente Jod und Brom. In Landpflanzen nur in ganz seltenen Ausnahmefällen vorkommend, trifft man Jod sowohl wie Brom in größeren Mengen in Meerespflanzen aufgespeichert. Es kann dieses Vorkommen aus dem Grunde kein zufälliges sein, weil das Meerwasser selbst nur analytisch kaum nachweisbare Mengen dieser Stoffe enthält, während Tang und Meeresalgen nicht nur nachweisbare, sondern sogar so große Mengen enthalten, daß ihre technische Ausbeutung sich lohnte. Ja, sie waren eine Zeitlang so ziemlich die einzigen Lieferanten alles in den Handel gelangenden Jods und Broms. Ob außer diesem hypothetischen Schutze den beiden Elementen irgendwelche Bedeutung für die Meerespflanzen zukommt, ist eine offene Frage.

Aus der Gruppe der zweiwertigen Metalloide kommt als Aschenbestandteil einzig und allein der Schwefel in größerem Umfange in Betracht, da, wie oben erwähnt, der Sauerstoff nur in solchen Mengen in der Asche enthalten ist, die seiner eigentlichen Bedeutung für das Pflanzenleben auch nicht im entferntesten entsprechen. Bildet er doch in der Asche gewissermaßen nur einen Nebenbestandteil der die Asche zusammensetzenden Mineralverbindungen.

Digitized by Google

Der Schwefel ist, wie oben ausgeführt, sehr weit in allen Böden verbreitet und kommt in den verschiedensten Formen vor. Zur Aufnahme durch die Pflanzenwurzel gelangt er, wie alle Versuche übereinstimmend ergeben haben, allein in hochoxydierter Form als Schwefelsäure in Verbindung mit den verschiedensten Basen, die wir als nützliche oder notwendige Bestandteile oben kennen gelernt haben. Alle Verbindungen, welche den Schwefel in weniger oxydierter Form enthalten, scheiden für die höhere Pflanze vollständig aus, da sie entweder in Wasser unlöslich und auch für die Pflanzenwurzel unangreifbar sind, oder aber sogar zur Reihe der starken Pflanzengifte gehören.

Es gilt dies Gesetz nicht für die niedersten Gruppen des Pflanzenreichs, speziell die Bakterien. Die Gruppe der Schwefelbakterien z. B., welche sich durch großen Artenreichtum auszeichnet, nimmt den Schwefel auch in Form von Schwefelwasserstoff auf. Er ist ihnen nicht nur unschädlich, sondern liefert in dieser Form dieser eigenartigen Organismengruppe sogar die zur Bestreitung ihres Lebensvorgangs nötige chemische Spannkraft. Oft wird er auch von einzelnen der Organismen in elementarer Form in ihrer Leibessubstanz abgelagert und dient so vielleicht als Reservestoff für eintretenden Mangel des Elements in der Außenwelt.

Im Leibe der höheren Pflanzen kommt dem Schwefel in Form von Schwefelsäure bzw. schwefelsauren Salzen jedenfalls eine ganz untergeordnete Bedeutung zu. Man hat Schwefelsäure in den verschiedensten Organen der Pflanze in geringen Mengen nachgewiesen, hat auch eine Anhäufung von schwefelsauren Salzen, die keineswegs immer als nützlich oder notwendig zu deuten ist, in den der Transpiration dienenden Organen, besonders den Blättern, konstatiert, wo sie sich jedenfalls in ähnlicher Weise wie die Natriumverbindungen durch Konzentrierterwerden des Nährwassers infolge eintretender Wasserverdunstung ansammeln. Weitaus die Hauptmenge des Schwefels kommt in der Pflanze in organischer Bindung, und zwar als konstituierender Bestandteil der Eiweißkörper vor. Es sind überhaupt noch keine pflanzlichen Eiweißstoffe bekannt geworden, die

Digitized by Google

keinen Schwefel enthalten, vielmehr ist ein Gehalt von 1% mit geringen Schwankungen als durchschnittlich für sämtliche Eiweißstoffe zu bezeichnen.

Wir haben dementsprechend im Schwefel ein für das Pflanzenleben absolut unentbehrliches Element zu erblicken, ohne dessen Anwesenheit, wie alle Versuche übereinstimmend erwiesen haben, nicht die geringste Entwicklung eines pflanzlichen Organismus eintritt.

Über die Form, in welcher der Schwefel in den Eiweißkörpern enthalten ist, kann man einige begründete Vermutungen hegen. Alle Eiweißstoffe spalten sehr leicht Schwefelwasserstoff ab, ein Vorgang, von welchem z. B. der eigentümliche Geruch frisch gekochter Eier herrührt; es muß dementsprechend der Schwefel, wenn auch nicht direkt als Schwefelwasserstoff, so doch in verwandter Bindung im Eiweißmolekül gebunden sein.

Den Ort, wo in der Pflanze die Reduktion der Schwefelsäure und die Aufnahme des Schwefels ins Eiweißmolekül vor sich geht, kennt man nicht. Der entgegengesetzte Vorgang, die Abspaltung des Schwefels aus dem Eiweiß und seine Oxydation zu Schwefelsäure, wird regelmäßig in Keimpflanzen beobachtet, wo Proteinstoffe in größerer Menge beim Vorgang der Keimung verbraucht werden.

Außer dieser Rolle, als wichtiger Baustein zum Aufbau des Eiweißes, d. h. der eigentlichen Lebenssubstanz der Zelle zu dienen, fällt dem Schwefel bei verschiedenen Pflanzenarten, speziell Cruciferen und Umbelliferen, noch eine andere zu. Er dient der Pflanze zur Produktion von sehr scharfen ätherischen Ölen, wie sie z. B. dem Knoblauch, dem Senf usw. ihren eigentümlichen Geschmack verleihen. Ob diese Substanzen irgendwelche direkte Beziehungen zum Lebensprozeß der Pflanze haben, oder ob sie biologischen Zwecken, zum Schutze gegen Angriffe tierischer Feinde, dienen, weiß man nicht. Doch scheint letzteres wahrscheinlich, da sie vielfach stark desinfizierend wirken.

Über die Verteilung des Schwefels (berechnet auf Schwefelsäure) auf die verschiedenen Pflanzenarten und die ver-

Digitized by Google

schiedenen Pflanzenteile gibt folgende kleine Zusammenstellung Aufschluß.

Es enthalten 100 Teile Trockensubstanz Teile Schwefelsäure:

Gramineen	0,2—0,38
Papilionaceen	0,1—0,6
Cruciferen	0,2—0,3
Weizen, grün	0,28
Weizenstroh	0,13
Weizenkörner	0,01
Kartoffelknollen	0,25
Kartoffelkraut	0,50
Futterrunkelwurzeln	0,20
Futterrunkelblätter	0,91
Weißklee in der Blüte	0,58
Erbse in der Blüte	0,62
Erbsenstroh	0,32
Erbsen	0,10
Eichenholz	0,01
Eichenblätter	0,10
Kiefernholz	0,01
Kiefernnadeln bis	0,30

Auffallend ist beim Schwefel, daß trotz seines nahen Zusammenhangs mit den Eiweißstoffen, der keinem Zweifel unterliegen kann, die doch sehr eiweißreichen Körner und Samen einen auch relativ niedrigen Gehalt an Schwefel aufzuweisen haben.

Wesentlich anders liegt in letzterer Beziehung die Sache bei dem Phosphor. Stets findet sich der Phosphor ebenfalls mit den Eiweißstoffen in Verbindung, und zwar in einem wenig wechselnden Mengenverhältnis. Hoher Eiweißgehalt entspricht in allen Pflanzenteilen stets einem hohen Phosphorgehalt und umgekehrt. Man kann direkt beobachten, wie im Herbst aus den Blättern vor ihrem Abfall mit dem Eiweiß auch ein Teil des Phosphors verschwindet. Es ist jedenfalls dem Phosphor eine mindestens ebenso wichtige Rolle beim Aufbau, vielleicht auch in der Konstitution der Eiweißstoffe zuzuschreiben, wie dem Schwefel. Es nötigen die eigentümlichen Umstände, welche

Digitized by Google

bei der Forschung in dieser Richtung zutage getreten sind, zu dem vorsichtigen Ausdrucke „vielleicht", denn es ist gelungen, Eiweißstoffen ihren Phosphorgehalt vollständig zu entziehen.

Diese Eiweißstoffe haben dann allerdings, freilich ohne ihren Charakter als Eiweißstoffe zu ändern, stets verschiedene ihrer Eigenschaften, die sie im phosphorhaltigen Zustande besitzen, eingebüßt. Aber es ist sehr die Frage, ob dieser Verlust von Eigenschaften einzig und allein auf das Fehlen des Phosphors zurückzuführen ist, und nicht vielmehr auf die doch immer recht gewaltsamen Manipulationen, denen die Stoffe zur Trennung von dem Phosphor unterworfen werden müssen. Das letzte Wort in dieser Frage ist noch keineswegs gesprochen. An der völligen Unentbehrlichkeit dieses Elements für jedes pflanzliche und tierische Lebewesen bestehen allerdings auf Grund von Analysen und Versuchen nicht die geringsten Zweifel mehr.

Man nimmt an, daß der Phosphor im Pflanzenorganismus wesentlich in hoch oxydierter Form Verwendung findet und nur in zurücktretender Menge in anderer Bindung, also in derselben Form, wie er einzig und allein aus dem Boden zur Aufnahme gelangt. Nur die Salze der Orthophosphorsäure mit unentbehrlichen, nützlichen, oder doch wenigstens für die Pflanze nicht schädlichen Basen, können in Form der neutralen oder basischen Verbindungen, gelöst im Bodenwasser oder durch die Wirkung der Pflanzenwurzel selbst löslich gemacht, zur Aufnahme gelangen. Alle niedriger oxydierten Phosphorverbindungen sind in noch weit höherem Grade, als dieses für die Schwefelverbindungen gilt, Pflanzengifte, und hier machen auch die niedersten Organismen keine Ausnahme.

Anhäufungen von Phosphaten irgendwelcher Art in Pflanzenteilen werden zuweilen, ohne daß man etwas über ihre Bedeutung auszusagen vermag, beobachtet. Namentlich das Teakholz zeigt häufig Kristalle von Bicalciumphosphat. Immerhin sind diese Fälle als Ausnahmen zu betrachten, die wohl nur auf sehr phosphorsäurereichen Böden, die in der Natur keineswegs weit verbreitet sind, vorkommen.

Digitized by Google

Den Gehalt einiger wichtiger Kulturpflanzen, sowie den Gehalt verschiedener Pflanzenteile an Phosphor gibt, auf Phosphorsäure berechnet, untenstehende Tabelle.

Es enthalten 100 Teile Trockensubstanz Teile Phosphorsäure:

Weizen, grün	0,75	Erbsen, grün	0,82
Weizenstroh	0,26	Erbsenstroh	0,41
Weizenkörner	0,95	Erbsen	1,00
Hafer, grün	0,70	Eichenholz	0,08
Haferstroh	0,33	Eichenblätter	0,43
Haferkörner	0,75	Kiefernholz	0,02
Kartoffelknollen	0,63	Kiefernnadeln	0,40
Kartoffelkraut	0,70		

Es dienen diese Zahlenangaben zugleich zur Illustrierung des oben betonten engen Zusammenhangs zwischen Phosphorsäure und Eiweißstoffen, denn der reichere Phosphorsäuregehalt der als eiweißreich bekannten Körner gegenüber dem Stroh, der als eiweißreich bekannten Leguminosen gegenüber den Gramineen tritt deutlich in Erscheinung.

Kaum bei einem anderen Elemente hat die über seine Bedeutung für das Pflanzenleben herrschende Anschauung in verhältnismäßig kurzer Zeit so tiefgreifende Wandlungen durchgemacht, wie bei dem Silicium. Die außerordentlich weite Verbreitung dieses Elements im Boden und entsprechend im Pflanzenreich, seine oft recht beträchtliche Anhäufung in den pflanzlichen Organismen führte dazu, bei noch geringer Ausbildung der Versuchstechnik, dem Silicium eine hervorragend wichtige Rolle für das Pflanzenleben zuzuschreiben. Es kam hinzu die sehr bald gemachte Beobachtung, daß das Silicium in sehr ähnlicher Weise wie der Kohlenstoff fähig ist, zahllose Verbindungen, die denen des Kohlenstoffs an Reichhaltigkeit im molekularen Aufbau keineswegs nachstehen, zu bilden. Es geht diese Fähigkeit so weit, daß man sich sehr wohl das Silicium an Stelle des Kohlenstoffs als Grundstoff einer organischen Welt denken kann. So mancher Forscher hat schon ganz ernsthalt auf die Möglichkeit der Existenz einer Kieselwelt auf ferneren heißeren Weltkörpern als Gegenstück zu unserer Kohlenstoff-Lebewelt hingewiesen.

Digitized by Google

Die Eigenschaft der Kieselsäure, welche in Form von Quarz bekanntlich den Hauptanteil der meisten Gesteine der Erdrinde bildet, starr und mit der härteste aller bekannten Stoffe zu sein, führte dazu, da man Beziehungen zum Lebensprozeß selbst nicht aufzufinden vermochte, der Kieselsäure die Rolle zuzuschieben, einzig und allein zur Festigung des Pflanzenkörpers zu dienen. Man stellte sich vor, daß die Kieselsäure, die als solche auch durch die Wurzeln zur Aufnahme gelangt, direkt als plastisches Material beim Aufbau der Zellwände in Wirkung trete und daß das Lagern des Getreides z. B. einzig und allein auf Mangel an Kieselsäure zurückzuführen sei, der bei weitergehender Steigerung den Tod des pflanzlichen Organismus zur Folge haben müsse.

Diese Auffassung erwies sich nach Ausbildung einer zuverlässigen Versuchstechnik als vollständig falsch. Es gelingt ohne jede Schwierigkeit in künstlichen Kulturen, Pflanzen, die unter natürlichen Verhältnissen sehr hohen Kieselsäuregehalt aufweisen, ohne Beigabe auch nur einer Spur von Kieselsäure oder ihren Verbindungen zu voller Entwicklung zu bringen. Mehr als das; es tritt keineswegs bei Gramineen z. B. die auf Kieselsäuremangel zurückgeführte Neigung zum Einknicken der Halme ein, da an dieser Neigung nicht das Fehlen der Kieselsäure schuld ist, vielmehr das Fehlen des Lichtes. Lichtmangel läßt die Zellwände bei Vergrößerung der Zellumina nicht genügend erstarken und die Folge ist ein schlaffer, zum Lagern neigender Halm. Nur eine einzige Gruppe der Pflanzen, die Diatomeen oder Kieselalgen, scheinen die Kieselsäure absolut nicht entbehren zu können, was nicht wundernehmen darf, da diese Wesen in ihren Skeletten, die bekanntlich als Kieselgur ungeheure Lager bilden, 70—80% Kieselsäure enthalten. Aus dem bereits mehrfach betonten Grunde, daß es recht unwahrscheinlich ist, daß eine einzelne Gruppe der Lebewelt sich prinzipiell von allen anderen unterscheidet, dürfen aber auch diese Untersuchungen wohl in gelinden Zweifel gezogen werden und ist anzunehmen, daß entweder auch die Diatomeen ohne Kieselsäure gedeihen können, oder aber daß minimale Spuren von Kieselsäure, die sich ja, wie

Digitized by Google

oben des weiteren erörtert, infolge des Gehaltes der Samen an diesem Stoffe niemals ausschließen lassen, für alle Gruppen des Pflanzen- und Tierreiches unentbehrlich sind.

Als nützlich wird man die Kieselsäure unter allen Umständen für die pflanzlichen Organismen zu bezeichnen haben. Hat sich auch bei den Gramineen die Annahme einer stark stützenden Wirkung von Kieselsäureeinlagerungen als irrig erwiesen, wenngleich ein jeder Nutzen einer solchen tatsächlich bestehenden Einlagerung für diesen Zweck gegen die Unbilden des Windes und des Regens bei den schmalgliedrigen Gräsern nicht abgesprochen werden soll, so ist dieses nicht der Fall bei Schachtelhalmen und verwandten Gewächsen. Weit mehr Gewicht ist aber meines Erachtens auf den Schutz zu legen, den die Einlagerung der Kieselsäure den verschiedenen Pflanzen gegen parasitische Angriffe gewährt. Mayer hebt besonders den Schutz gegen die weichmäuligen Schnecken hervor, den die Kieselsäure den Gramineen in ausgedehntem Maße bietet. „Es wurde dieses Verhalten sogar direkt durch Vegetationsversuche von Gramineen mit und ohne Kieselsäure bewiesen, wobei sich die kieselfreien als ein sehr brauchbares Schneckenfutter bewährten."

Einlagerungen kompakter Kieselsäuremassen im Innern von pflanzlichen Organismen werden oft beobachtet. Besonders bekannt sind die Tabaschir genannten Kieselkonkretionen im Innern der Bambusen, die in Indien vielfach die Rolle von Zaubermitteln spielen.

Die Gehalte der einzelnen Pflanzen an Kieselsäure sind außerordentlich schwankend. Um nur einige Beispiele zu bringen, enthalten in 100 Teilen Trockensubstanz Teile Kieselsäure:

Weizenstroh	3,7%	Haferstroh	3,4%
Weizenkörner . . .	0,04%	Haferkörner	1,4%
Erbsenstroh	0,4%	Kartoffelknollen . .	0,08%
Erbsen	0,02%	Kartoffelkraut. . . .	0,7%
Eichenholz.	0,003%	Kiefernholz	0,01%
Eichenblätter. . . .	1,6%	Kiefernnadeln . . .	0,09%
Äpfel	bis 0,06%	Kirschen	0,1%

Digitized by Google

Das Metalloid Bor ist verschiedentlich in Pflanzen gefunden worden. Stets aber dokumentieren sich diese Fälle von selbst als solche, wo die Aufnahme eine nur zufällige war. Eine Bedeutung kommt dem Element im Pflanzenleben jedenfalls in keiner Beziehung zu.

3. Allgemeine Gesetze der Aufnahme und Verwendung der Nährstoffe.

Aus den bisher mitgeteilten Daten von Untersuchungen der verschiedensten Gewächse auf ihre einzelnen mineralischen Bestandteile drängt sich eine Folgerung auf, die auf den ersten Blick selbstverständlich erscheint, bei näherem Zusehen aber sich als eines der schwierigsten Probleme der Pflanzenphysiologie entpuppt, das, wenn man ehrlich sein will, bisher jeder tatsächlichen Erklärung spottet. Gleich zusammengesetzte Böden können offenbar Pflanzen produzieren, die in ihrem Leibe die verschiedenen Mineralstoffe in durchaus wechselnden gegenseitigen Verhältnissen verarbeitet haben, trotz der Gleichheit des gebotenen Nährwassers. Je nach der Pflanzenart hat, um ein konkretes Beispiel anzuführen, das eine Gewächs mehr Kali, das andere mehr Phosphorsäure dem Boden entnommen, trotzdem die beiden Pflanzen vielleicht dicht nebeneinander stehen und ihre verschlungenen Wurzeln vom gleichen Bodenwasser bespült werden. Die Pflanzen haben unter dem ihnen Gebotenen eine scharfe Wahl ausgeübt. Sie haben nur das aufgenommen, wenigstens im großen und ganzen, was ihrer speziellen Organisation entspricht, wenngleich, wie schon oben verschiedentlich betont, auch gewissermaßen gegen den Willen der Pflanze viele im Bodenwasser enthaltene Stoffe als indifferente Bestandteile in ihren Körper dringen. Dieses Wahlvermögen der Pflanzen, ihre Vorliebe für bestimmte mineralische Bestandteile der Nährflüssigkeit geht so weit, daß z. B. die Algen und Tang des Meeres Jod in größeren Mengen in ihrem Leibe aufspeichern, trotzdem es im Meerwasser selbst nur in so geringen Spuren enthalten ist, daß diese sich der chemischen Analyse

Digitized by Google

fast entziehen. Das Verhältnis zum Natrium, wie es im Meerwasser besteht, ist jedenfalls durch aktive Tätigkeit der Pflanzen in ihrem Leibe vielhundertfach zugunsten des Jods verschoben.

Und die Erklärung für diese auffallende Willensäußerung der Pflanzen? Wenn er die Lehrbücher der Botanik durchblättert, kann den Laien gegenüber der Unzahl fachlicher Ausdrücke, die ihm auf jeder Seite aufstoßen und die selbst bei den schwierigsten Problemen des Pflanzenlebens dem Botaniker leicht bei der Hand sind, wohl das Gefühl überkommen, daß man es mit der Erkenntnis des Pflanzenlebens doch schon recht weit gebracht hat. Erscheint doch der komplizierte Lebensmechanismus der pflanzlichen Geschöpfe dank zahlreicher volltönender Bezeichnungen seiner einzelnen Teile wie eine bis ins Detail bekannte Maschine, die der Forscher nach seinem Sinne zu lenken vermag, da er das ganze Getriebe genau bis ins einzelste kennt und beherrscht. Aber was verbirgt sich in Wirklichkeit unter dieser scheinbar genauesten Kenntnis? Je genauer die Beschreibung der einzelnen Lebensvorgänge der Pflanzen wird, je tiefer eine unablässig und mit immer besseren Mitteln sich rüstende Wissenschaft blickt und sich bemüht, das Wesen der Dinge zu begreifen, desto weiter weicht das Ziel! Das wirkliche Verständnis des Wie und Warum, dem man sich im Pflanzenleben bereits eine Zeitlang nahe wähnte, wird immer schwieriger durch immer neue Probleme. Was hilft es, zu wissen, daß das Wahlvermögen der Pflanzen bedingt ist durch verschiedene Durchlässigkeit der einzelnen Schichten des Zellleibes für die einzelnen mineralischen Stoffe? Im Grunde nichts, wenn nicht bekannt ist, warum diese Verschiedenheiten bestehen. Was nützt es für das Verständnis des Vorgangs, zu wissen, daß dieser oder jener „Tropismus" diese oder jene Lebensäußerung, Bewegung usw. des Pflanzenleibes hervorruft? Wodurch wird dieser Tropismus bedingt?

Geheimnisvoll am lichten Tage läßt sich Natur des Schleiers nicht berauben!

Überall von Forschergeist gesetzte Gesetze, die noch nicht den Grundgesetzen der Natur entsprechen, überall Versuche,

Digitized by Google

aus dem lebendigen Pflanzenleibe eine kunstvolle, seelenlose Maschine zu machen, die folgsam auf jeden Hebeldruck reagiert. Und doch triumphiert heute noch das „Ich" der Pflanze, mag es ein Riese des Urwalds sein oder eine einzelne Zelle, frei oder als Glied eines großen Pflanzenkörpers! Seelische Äußerungen, Willensäußerungen im treffendsten Sinne des Wortes, sind die „Tropismen", ist das Wahlvermögen der Pflanzenzellen für die einzelnen Nährstoffe, unbewußt zwar, aber darum nicht weniger energisch als beim Tier und . . . nicht weniger unerklärlich. Wie wir der tierischen Psyche heute noch ratlos gegenüberstehen, so auch der der Pflanzen. Wir sehen hier wie dort ihre Äußerungen, können sie hier wie dort beschreiben, katalogisieren, aber das Verständnis mangelt hier wie dort.

Ob für immer? Ob das bekannte „Ignorabimus" Dubois-Reymonds seine Berechtigung hat? Auch der Mensch ist ein Stück der Natur, ihr eigenstes Geschöpf, entstanden auf langem, endlose Äonen von Jahren umfassenden Entwicklungswege, aber eben entstanden, entwickelt, auf der Bahn des Fortschritts noch heute, ja heute mehr denn je, begriffen. Warum sollte denn an dieser Frage, die doch nur eine Frage des höheren Verständnisses ist, die Entwicklung des Geistes haltmachen? Warum sollte sich hier niemals eine Antwort finden? Mögen heute unsere Geisteskräfte zur Lösung dieses Rätsels aller Rätsel nicht hinreichen, mögen sich unsere Forschungsmethoden und Forschungsmittel als weitaus zu plump und roh erweisen. Die äonenlange Entwicklung garantiert in gewissem Sinne eine gleichlange Zukunft. Weiterbauend in emsigem Fleiß mögen höher begabte, zu höherer Geistesstufe entwickelte Nachkommen sich mit mehr Glück am alten Problem der Selbsterkenntnis, die schließlich jede Erkenntnis der Natur ist, versuchen, bis einst einem erleuchteten Geiste des Rätsels Lösung glückt.

Kein Sterblicher hebt diesen Schleier,
Bis ich selbst ihn lüfte!

Ist der Mensch nicht ein Stück der Natur, die Natur selbst? Und sollte der Natur die Selbsterkenntnis versagt sein? Ich vermag es nicht zu glauben.

Digitized by Google

Größere Vermessenheit scheint es mir zu sein, mit einem resignierenden „Ignorabimus"! dem allmählich erst erwachenden Menschengeiste — denn was will die Spanne bewußter Forschung gegenüber den Jahrmillionen der Entwicklungsgeschichte bedeuten? — im ersten Beginn seiner aufsteigenden Bahn die Entwicklungsfähigkeit abzusprechen, als ihn zum Streben nach den höchsten Früchten der Erkenntnis zu ermuntern.

Sollten diese schönsten, höchsten Früchte sich als unerreichbar erweisen, verloren wäre die Arbeit doch keineswegs. Der sittlich erhebende Wert der Wahrheitsforschung bleibt bestehen: „Et voluisse sat est", nicht gesprochen im Sinne der indolenten Bequemlichkeit, sondern in bewußter stolzer Resignation, in der Überzeugung, das Seine zur Erreichung des Höchsten getan zu haben!

Doch zurück zum eigentlichen Thema! An dem Wahlvermögen der Pflanzen für die einzelnen Nährstoffe macht heute die Erklärung der Forschung halt, in derselben Weise, wie bei einem eng damit zusammenhängenden Vorgang, der ungleichen Arbeitsleistung der Gewächse, wie Strakosch es genannt hat, d. h. der außerordentlich verschiedenen Fähigkeit, mit Hilfe gleicher Mineralstoffmengen organische Substanz zu produzieren. Die Nährstoffe des Bodens, neben den Mineralstoffen natürlich auch der Stickstoff, sind ja gewissermaßen der Rohstoff jeder Produktion. Und wie außerordentlich verschieden je nach der Pflanzengattung werden diese Rohstoffe genutzt!

Erst in letzter Zeit richtet die Wissenschaft auf dieses so lange vernachlässigte Gebiet der Forschung ihr Augenmerk und, wenn natürlich auch alle Ergebnisse nicht ohne weiteres für die Praxis verwertbar sind, ist die weitgehende Berücksichtigung des „assimilatorischen Effekts"[1]) als wertcharakterisierenden Moments für die Beurteilung namentlich der Kulturgewächse nur zu empfehlen.

[1]) Strakosch definiert diesen von ihm geschaffenen Begriff folgendermaßen: Der assimilatorische Effekt ist der Quotient aus der Quantität an nutzbarer Substanz, welche eine Pflanze aus einer bestimmten Fläche liefert, und aus der Menge der aufgenommenen Bodennährstoffe.

Digitized by Google

Ohne auf die umständlichen und schwierigen Berechnungen der gesamten Größe des näheren einzugehen, seien, um von der Wichtigkeit dieser Frage eine Vorstellung zu geben, hier einige Zahlen zitiert.

Setzt man die Arbeitsleistung des Roggens, wie sie im „assimilatorischen Effekt" zum Ausdruck kommt = 100, nimmt man also an, die vom Roggen produzierte Menge organischer Substanz verhalte sich zur Menge der zu dieser Produktion verbrauchten Nährstoffe wie 100 : 1, so stellen sich, auf dieser Basis berechnet, die gleichen Zahlen bei

Mais	auf 211	Erbsen	auf 578	Raygras	auf 46
Reis	„ 286	Bohnen	„ 387	Rotklee	„ 403
Gerste	„ 124	Sojabohne	„ 668	Esparsette	„ 565
Hafer	„ 95	Kartoffel	„ 149	Raps	„ 105
Weizen	„ 103	Runkelrübe	„ 76	Mohrhirse	„ 33

usw.

Eine noch deutlichere Sprache spricht folgende kleine nach Strakosch (l. c.) wiedergegebene Umrechnung auf Geldwerte.

Bei einer Entnahme von Bodennährstoffen im Werte von einer Mark erzeugen verschiedene Kulturpflanzen physiologisch nutzbare Substanz im Werte von Mark:

Roggen	3,5—4,0	Rotklee	15,0—15,5
Weizen	3,5—4,0	Luzerne	12,5—13,0
Gerste	4,5—5,0	Inkarnatklee	22,5—23,0
Hafer	3,0—3,5	Esparsette	20,5—21,0
Mais	7,0—7,5	Seradella	6,0— 6,5
Kartoffel	5,5—6,0	Erbse	21,0—21,5
Zuckerrübe	6,0—6,5	Ackerbohne	14,0—14,5
Futterrübe	2,5—3,0	Sojabohne	24,5—25,0

Die kolossalen Unterschiede in der Arbeitsleistung der einzelnen Gewächse sind so in die Augen springend, daß jedes Wort der Erläuterung sich erübrigt.

Es ist zu erwarten, daß die Praxis sich diese Untersuchungen, deren Fortsetzung wohl keinem Zweifel unterliegt, zunutze machen wird. Ob allerdings in dem Umfange, wie die begeisterten Verfechter der neuen Gesichtspunkte es

Digitized by Google

wollen, so daß eine wesentliche Umänderung der Fruchtfolgen eintreten wird, muß als fraglich erscheinen, da ja bei der Aufstellung von Wirtschaftsplänen und Fruchtfolgen noch ganz andere nicht minder wichtige Gesichtspunkte als der „assimilatorische Effekt" der einzelnen Pflanzen in Frage kommen. Wo solche hindernden Gesichtspunkte fehlen, wird freilich in Zukunft der assimilatorische Effekt, wenn anders von rationeller Wirtschaft die Rede sein soll, den Ausschlag geben müssen. Daß er auch sonst beachtet wird, wohlverstanden mit der gebotenen Einschränkung, dürfte wohl im Interesse rationeller Produktion angenommen werden; denn es ist ein Unterschied, ob mit dem gleichen Kostenaufwande die einfache oder 25fache Menge nutzbarer Substanz erzeugt werden kann.

Es sind diesen Rechnungen natürlich nicht die Ergebnisse von einzelnen Untersuchungen, sondern die Mittelwerte einer großen Anzahl von Einzelanalysen zugrunde gelegt. Denn wie schon wiederholt betont, schwanken die Gehalte der einzelnen Pflanzen an den verschiedenen Mineralstoffen in den allerweitesten Grenzen. Sind wenig Nährstoffe, alias Mineralstoffe im Boden vorhanden, so richtet sich nach bestimmten Gesetzen die Pflanze mit der geringen Menge ein, während sie bei reichem Vorhandensein einen direkten Luxusverbrauch an den verschiedensten, wesentlich aber an den löslichen Mineralstoffen treibt, so daß es bisher kaum gelungen ist, eine Maximalgrenze der Aufnahme für bestimmte Stoffe durch die einzelnen Pflanzen zu finden.

Dieser Umstand der sehr wechselnden Menge der aufgenommenen Nährstoffe legte den Gedanken nahe, ob es nicht möglich sei, jeden Stoff durch einen chemisch nahestehenden zu ersetzen, z. B. das Kalium durch das Natrium usw. Es ist schon oben angedeutet, daß diese Versuche völlig gescheitert sind. Niemals ist der völlige Ersatz eines der als notwendig erkannten Stoffe — und nur um sie kann es sich überhaupt bei dieser Frage handeln — durch irgend ein nahestehendes Element gelungen. Es ist also, um noch einmal kurz zusammenzufassen, nicht möglich, in vollem Umfange, oder auch nur in bemerkenswertem Maße

Digitized by Google

„Kaliumverbindungen durch Natrium-, Rubidium-, Lithium- oder Caesiumverbindungen,
Calciumverbindungen durch Baryum-, Strontium- usw. Verbindungen,
Magnesiumverbindungen durch Lithium-, Calcium- usw. Verbindungen,
Eisenverbindungen durch Mangan, Nickel- oder Kobaltverbindungen,
Schwefelsaure Salze durch selensaure Salze,
Phosphorsaure durch arsensaure usw. Salze oder gar
Kohlensäure durch Kieselsäure zu ersetzen." (Mayer l. c.)

Es ist dieses eigentlich auch nur die logische Folgerung aus dem Ausdruck: Unbedingt notwendiger Stoff. Denn es ist selbstverständlich, daß es für etwas unbedingt Notwendiges einen Ersatz nicht geben kann.

Anders verhält sich die Sache hinsichtlich teilweiser Vertretung der einzelnen Stoffe untereinander. Hier liegen Beobachtungen in reichlicher Zahl vor, daß ein solcher teilweiser Ersatz z. B. des Kaliums durch das Natrium in einzelnen Fällen möglich scheint, obwohl es sich dann allerdings nicht um eine Vertretung des einen Stoffes durch den anderen in seinen eigentlichen physiologischen Funktionen, sondern in Nebenwirkungen im Pflanzenorganismus handeln dürfte.

Stets muß eine gewisse Mindestmenge aller als unbedingt notwendig erkannten Mineralstoffe der Pflanze zur Verfügung stehen, aus welcher sie ihren durch Versuche sehr wohl festlegbaren Mindestbedarf an den einzelnen Elementen decken kann.

Die einfache logische Folgerung aus diesem Umstand ist, daß jeweils für das Pflanzenleben derjenige Stoff von größter Bedeutung ist, der in geringster Menge der Pflanze zur Verfügung steht. Denn da ein Mindestbedarf für die einzelnen Elemente bei jeder Pflanze vorhanden ist, ist es klar, daß bei Unterschreitung dieser Mineralmenge ein Pflanzenleben ausgeschlossen, jede Möglichkeit des Gedeihens genommen ist, mögen alle anderen notwendigen Mineralstoffe noch so reichlich vorhanden sein. Es nützt der Pflanze nichts!

Digitized by Google

Sie alle vermögen nicht den einen fehlenden Stoff in seinen physiologischen Wirkungen zu ersetzen.

Ein mehrfach gebrauchtes, wenn auch triviales, so doch sehr treffendes Bild ist das folgende:

Das Pflanzenleben gleicht einem Tische, dessen Beine die einzelnen Mineralstoffe, oder besser, Lebensbedingungen im weitesten Sinne sind. Die Beine sind gleich, der Tisch steht fest und gerade, wenn alle Lebensbedingungen im richtigen gegenseitigen Verhältnis vorhanden sind. Ist eine Bedingung nicht erfüllt, fehlt also z. B. ein Mineralstoff, der lebensnotwendig ist, im Boden: ist ein Bein zu kurz, dann wird der Tisch entsprechend sich zur Seite des zu kurzen Beins neigen, ja, sobald eine gewisse Grenze der Verkürzung, der Mindestbedarf, überschritten ist, sogar nach dieser Seite fallen, mögen die anderen Beine noch so lang sein, d. h. mögen die anderen Lebensbedingungen noch so vollständig erfüllt sein. Er wird es vielleicht sogar um so schneller tun, je mehr das letztere der Fall ist.

Liebig gebührt das Verdienst, dieser Gesetzmäßigkeit, die die Grundlage aller praktischen Düngungsregeln, der gesamten rationellen Kunstdüngerwirtschaft geworden ist, zuerst einen prägnanten Ausdruck verliehen zu haben in seinem wohlbekannten Gesetz des Minimums:

„Der im Minimum vorhandene Nährstoff (das will sagen, der in bezug auf diejenige Menge der einzelnen Nährstoffe, wie sie zu einer normalen Pflanzenproduktion zusammenwirken, im Minimum vorhandene) ist maßgebend für die gesamte Größe der Produktion."

Daraus folgt, daß die einseitige Vermehrung eines Nährstoffs, wie es durch falsche Düngung leider noch sehr oft geschieht, niemals einen Erfolg haben kann, wenigstens keinen vollen Erfolg, es sei denn, daß es sich um den gerade im Minimum befindlichen Nährstoff handelt. Doch davon später. Selbstverständlich erstreckt sich übrigens, wie auch schon betont, das Gesetz des Minimums nicht allein auf die Nährstoffe, sondern auf alle Wachstumsbedingungen, was ja jede nähere Überlegung lehrt.

Digitized by Google

Es liegt unter Berücksichtigung des Gesagten die Annahme nahe, daß es möglich sein müßte, künstlich Pflanzen zu erzeugen, die von allen Nährstoffen den Minimalgehalt enthielten, und zwar nur von den unbedingt notwendigen, die also auch den minimalen theoretischen Gesamtaschengehalt aufzuweisen hätten. Diese Annahme, gegen welche sich theoretisch nichts einwenden läßt, hat sich praktisch als ein völliger Irrtum erwiesen. Die Summe der minimalen Menge der Einzelbestandteile der Asche ist mit dem minimalen Gesamtaschengehalt, obwohl man es eigentlich annehmen sollte, keineswegs identisch. Stets ist der letztere Gehalt ein nicht unwesentlich höherer.

Z. B. beträgt die Summe der notwendigen Nährstoffe für die Haferpflanze nach Untersuchungen Wolfs, welcher zuerst auf diese außerordentlich interessanten Beziehungen aufmerksam gemacht hat, 2% der Trockensubstanz. „Durch keine Kombination von Umständen, durch keine noch so vorteilhafte Mischung der Nährstoffe gelingt es aber, normale Haferpflanzen von 2% Asche in der Trockensubstanz zu erzielen. So konstruierte Pflanzen werden unausbleiblich Krüppel.“ Denn nur dem Überschuß der anderen Bestandteile gelingt es, Pflanzen mit Minimalgehalten an einzelnen Nährstoffen hervorzubringen. Selbst sonst entbehrliche Aschenbestandteile zeigen sich notwendig, um die gefundenen Minima zuzulassen. Es besteht ein eigenes Minimum der Gesamtasche für jede Pflanze, das mit der Summe der Minima der Aschenbestandteile nichts zu tun hat. Dabei ist es gleichgültig, welche Stoffe der Pflanze zur Erreichung dieses Minimalgehaltes an Gesamtasche dienen, sofern sie nur es zu erreichen helfen. Oberhalb ihres minimalen Bedarfs an den einzelnen Mineralien hat offenbar die Pflanze die Fähigkeit, sich mit anderen Stoffen zum Ersatz zu begnügen, ein Umstand, der bei genauerer Kenntnis der ihn regelnden Gesetzmöglichkeiten für den praktischen Ackerbau von weittragender Bedeutung werden kann und theoretisch die Frage der teilweisen Vertretung der Aschenbestand-

Digitized by Google

teile, wie namentlich Mayer mit Nachdruck betont, in ein ganz neues Licht stellt, neue lohnende Gebiete der Forschung eröffnend.

Hervorgehoben muß zum Schlusse noch werden, daß die Aufnahme der Aschenbestandteile (und des Stickstoffs!) während des Verlaufs der Vegetationsperiode keineswegs gleichmäßig vor sich geht. Als allgemein gültige Grundregel kann aufgestellt werden, daß alle Pflanzen im Beginn ihres Wachstums schnell einen gewissen Fonds von Nährstoffen in ihrem Körper aufspeichern, dessen Verarbeitung dann die späteren Lebensabschnitte gewidmet sind. Im einzelnen bestehen hier für die einzelnen Stoffe, vor allem aber auch für die einzelnen Pflanzengattungen und selbst Arten die tiefgehendsten Unterschiede, die keineswegs bereits überall geklärt sind, so wichtig diese Frage auch für die Praxis des Ackerbaues zu sein verspricht. „Die Methoden, die einzelnen physiologischen Vorgänge genau zu verfolgen, sind zum großen Teil noch nicht so weit ausgebildet, daß wir uns einen klaren Einblick in dieses doch jedenfalls nach festen Grundsätzen geregelte Walten der Natur verschaffen können“ [1]).

4. Die formgebende Rolle der Mineralstoffe im Pflanzenorganismus.

Ist es der Forschung auch noch nicht gelungen, die physiologische Rolle der Mineralstoffe im Pflanzenleben bis auf den letzten Grund zu klären, so hat sie diesem Gebiete doch wenigstens von Anfang an ein reges Interesse entgegengebracht. Dieses ist leider nicht der Fall gewesen gegenüber einer anderen nicht minder wichtigen Rolle der Aschenbestandteile, nämlich der, die innere und äußere Gestaltung der Pflanzen zu beeinflussen. Man hat diese Seite der Mineralstoffwirkung bis ins letzte Jahrzehnt fast völlig ignoriert, wohl in der stillschweigenden Annahme, daß ein derartiger Einfluß nicht bestände, wenigstens nicht für die unentbehrlichen

[1]) Wilfarth, Ldw. Vers. St. 1905, S. 69, worauf wegen der Einzelheiten derartiger Versuche zu verweisen ist.

Digitized by Google

Nährstoffe der Pflanzen. Denn daß einzelne seltenere Elemente ganz erhebliche morphologische Wirkungen entfalten, oft Pflanzenarten zu völlig verändertem Aussehen bringen, lehrte der Augenschein.

Und doch bedarf es nur einer eingehenden Überlegung, um zu der Überzeugung zu kommen, daß auch die unentbehrlichen und nützlichen Mineralstoffe eine gewisse formgebende Wirkung entfalten müssen. Sie nehmen teil an den wichtigsten physiologischen Funktionen des Pflanzenlebens, greifen vor allem in den pflanzlichen Produktionsprozeß fördernd oder hemmend ein, bilden die Grundsteine gewissermaßen vieler pflanzlicher Stoffe. Es ist klar, daß demnach auch jenseits ihrer zum Leben unbedingt notwendigen Mindestmenge ihre Anwesenheit oder, genauer ausgedrückt, ihr gegenseitiges Mengenverhältnis nicht ohne Einfluß auf den Gang der Produktion bleiben kann: daß gewisse organische Substanzen bei reichlicher gebotenen Grundstoffen reichlicher entstehen werden, bei geringerem Vorrat an bestimmten mineralischen Elementen die Produktion bestimmter Substanzen eingeschränkt bleiben muß, entsprechend dem Gesetz des Minimums.

Gibt man diese Wahrscheinlichkeit zu, so ist nur ein kurzer Schritt bis zu dem Schluß, daß dieser Wechsel der Stoffproduktion auch gewisse Verschiebungen im Produktions- und Leitungsgewebe des Pflanzenkörpers voraussetzt, die bei geringen Differenzen nur durch peinlichst genaue mikroskopische Messung wahrnehmbar sind, bei größeren aber schließlich auch in der äußeren Pflanzenform, dem Habitus des ganzen Gewächses, zum Ausdruck kommen müssen.

Es bedarf nur einiger Aufmerksamkeit, um massenhafte Belege für die Richtigkeit dieser Anschauung im Pflanzenreiche allenthalben zu finden. Daß allgemeiner Nährstoffmangel sogenannte Hungerpflanzen erzeugt, die oft mit normalen Exemplaren gar nicht mehr verglichen werden können, wußte man von Anfang an. Man wußte auch sehr wohl, daß eine Düngung aus solchen jungen Hungerpflanzen bald üppige Exemplare schafft. Der beste experimentelle

Digitized by Google

Beweis, wenn auch in roher Form, war also vieltausendfach längst geliefert.

Erst in neuerer Zeit hat man sich aber mit exakteren Methoden der Frage zugewandt und verhältnismäßig rasch ein auch für die Praxis des Pflanzenbaues wichtiges Beobachtungsmaterial gesammelt.

Die Mannigfaltigkeit der zahllosen Stoffkombinationen in jedem Boden machte die Arbeit zu keiner leichten. Man konnte sich entsprechend anfänglich nur in extremen Verhältnissen bewegen, indem man das relativ gänzliche Fehlen eines Mineralstoffs seiner relativ reichlichen Anwesenheit gegenüberstellte und die in beiden Fällen erzeugten Pflanzen miteinander verglich. Die Beobachtung der Mittelfälle, die sich in der Natur am verbreitetsten finden und die gerade für die Praxis die meiste Bedeutung haben, da extreme Bodenverhältnisse selten in Frage kommen, befindet sich erst ganz in ihren Anfängen, infolge der recht geringen Ausbildung der systematischen mikroskopischen Analyse des Pflanzenkörpers, die zur Auffindung der notwendig kleinen Differenzen eine Notwendigkeit ist. Diese Analyse muß zur Erzielung einwandfreier Resultate um so vorsichtiger arbeiten, da die Fehlerquellen ganz besonders reichlich sind.

Immerhin ermutigen die bisher erhaltenen Ergebnisse durchaus zu weiterer Arbeit auf diesem noch so wenig beackerten Gebiete, da sie sich mit denen der chemisch-physiologischen Forschungen im befriedigendsten Einklang befinden. Und vielleicht ist es zu hoffen, daß bei weiterer Durchbildung der Methode die mikroskopische Pflanzenanalyse einmal eine wertvolle Helferin der chemischen Analyse der Böden und Pflanzen zur Beurteilung des Nährstoffbedarfs unserer Kulturgewächse sein wird, einer Beurteilung, die bisher, wie im folgenden auseinandergesetzt werden wird, alles andere als zuverlässig ist.

Sieht man vom Stickstoff, über welchen gleichfalls wichtige Untersuchungen angestellt sind, die aber nicht hierher gehören und später zu besprechen sind, ab, so sind Kalium, Phosphor resp. Phosphorsäure und Kalk in bezug auf ihre

Digitized by Google

Wirkungen auf den inneren Aufbau des Pflanzenorganismus des näheren untersucht.

Es würde zu weit führen, auf Einzelheiten einzugehen. Als durchgängiges Gesetz, das sich bei den verschiedensten Pflanzengattungen wie Gramineen und Solanaceen z. B. nachweisen ließ, hat sich herausgestellt, daß entsprechend seiner physiologischen Rolle, die es eng mit der Produktion der Kohlehydrate verknüpft, das Kalium wesentlich die Produktivgewebe des Pflanzenkörpers, also die chlorophyllführenden Zellarten vermehrt, ohne dabei, wie es ja bei der Lieferung reichen Baumaterials in den Kohlehydraten eigentlich auch selbstverständlich ist, die leitenden und stützenden Gewebe in den Hintergrund zu drängen.

Die Phosphorsäure scheint dagegen in oft einseitig starker Weise gerade die stützenden und leitenden Gewebekomplexe in ihrer Ausbildung zu fördern, und etwas Ähnliches gilt anscheinend vom Kalk.

Es ist klar, daß extreme Verhältnisse im Innern auch zu äußeren Veränderungen der Pflanze führen, wie sie als die verschiedenen Mangelerscheinungen an schlecht ernährten Pflanzen längst bekannt, nur teilweise bisher wohl nicht genügend beachtet oder falsch gedeutet sind.

So dokumentiert sich nach übereinstimmenden Untersuchungen der Mangel an Kalium in Braunfleckigkeit der Blätter, also schlechter Ausbildung der Chlorophyllapparate bei den verschiedensten Gruppen von Nutzpflanzen, Mangel an Phosphorsäure durch Neigung zum Lagern, dunkles Grün der Blattpartie und schlechte Kornbildung usw. Es ist zu beachten, daß ganz entsprechend dem Gesetz des Minimums gerade die Mangelerscheinungen in allen Fällen die deutlichsten sind.

Ganz besonders auffallend sind die äußeren Änderungen der Pflanzen unter dem Einfluß des verschiedenen Calciumgehalts der Böden. An Kulturpflanzen verhältnismäßig wenig untersucht, hat man dieser Frage in der allgemeinen Botanik Beachtung geschenkt, da Böden mit extrem hohem und extrem niederem Gehalt an Kalk in weiter Verbreitung oft dicht neben-

Digitized by Google

einander vorkommen und so förmlich zu einem Vergleich der Pflanzenformen zwangen.

Kerner faßt in seinem bekannten „Pflanzenleben" den Einfluß des Kalks auf das Aussehen der Pflanzen folgendermaßen zusammen:

1. „Die Kalkpflanzen sind stärker und dichter behaart, oft sind sie weiß oder graufilzig, während ihre Parallelformen drüsenhaarig sind.

2. Die Kalkpflanzen haben oft blaugrüne Blätter, die anderen (d. h. nicht auf kalkhaltigen Böden erwachsenen Angehörigen derselben Art) grasgrüne Blätter.

3. Die Kalkpflanzen haben Blätter, die mehr und tiefer geteilt sind.

4. Sind die Blätter der Kalkpflanzen ganzrandig, so sind sie bei den anderen nicht selten gekerbt und sägezähnig.

5. Die Kalkpflanzen haben größere und

6. meist mattere und hellere Blüten."

Die auf diese Weise entstehenden Differenzen gehen so weit, daß sie oft zur Aufstellung einer neuen Art einer Pflanzengattung genügten.

Es erhebt sich jetzt die Frage, ob diese durch Kalk hervorgerufenen Veränderungen des Pflanzenäußern als eine Steigerung der Eigenschaften der betreffenden Pflanzen, die Kalkwirkung mithin als eine günstige aufzufassen ist, oder ob man richtiger die Änderungen ihres Baues als eine Abwehrmaßregel der Pflanze gegen schädliche Einwirkungen betrachtet.

Man glaubt in letzter Zeit auf Grund namentlich experimentellen Beweismaterials die Frage nach der Wirkung des Kalks im letzteren Sinne beantworten zu müssen. Es wäre demnach der Kalk in größeren Mengen — in gewissen kleinen ist er, was bereits des näheren erörtert, natürlich ein unbedingt notwendiger Nährstoff — als Pflanzengift zu bezeichnen, gegen das sich die Pflanze durch Änderungen ihrer Struktur und dann ihres Äußeren wehrt.

Der Widerspruch, der in dieser Auffassung liegt, ist nur ein scheinbarer. Es ist aus allen anderen Gebieten sehr wohl

Digitized by Google

bekannt, daß Stoffe in größeren Mengen auf lebende Organismen schädliche Wirkungen entfalten, während sie in geringen Mengen als höchst nützlich, ja unentbehrlich zu gelten haben.

Es wären demnach diejenigen Pflanzen, die man als Kalkpflanzen bezeichnet, wie z. B. von den landwirtschaftlichen Kulturgewächsen der Klee, nicht solche, die, wenigstens von Anfang an, auf einen hohen Kalkgehalt des Bodens angewiesen waren und sind, weil ihnen der Kalkgehalt über ein gewisses Maß hinaus nützt, sondern im Gegenteil solche, welchen ein übertriebener Gehalt des Bodens an diesem Stoff am wenigsten schadet, da ihr Bedarf an Kalk ohnehin infolge ihrer speziellen Entwicklung (s. o.) ein hoher ist.

Daß allmähliche Anpassung und Vererbung auch in dieser Frage, wie in der der Artbildung überhaupt — denn im Grunde kommt es ja darauf hinaus — eine überaus wichtige Rolle spielt, daß bei ständiger Züchtung auf kalkreichen Nährsubstraten allmählich die Pflanzen sich an einen hohen Kalkgehalt gewöhnen, der ihnen vielleicht sogar zum Bedürfnis wird, steht wohl außer allem Zweifel. Schwierig ist es nur, wirklich schlagende Beweise zu bringen, da ein Experiment der Natur, in Jahrhunderten, wenn nicht Jahrtausenden angestellt, sich nur in seltenen Fällen im Laboratorium oder auch im Versuchsgarten in so unendlich viel kürzerer Zeit nachahmen läßt.

Im übrigen scheint dieser Weg zum Verständnis des Entstehens der Arten bisher kaum so energisch beschritten, als man nach dem deutlich vor Augen liegenden hohen Einfluß der Ernährung auf die Pflanzenform wohl annehmen sollte.

Es steht fest, daß jedem Element ganz bestimmte sich selbst formende und formgebende Eigenschaften innewohnen, die in der „unbelebten" Natur in der Kristallform zum Ausdruck kommen. Auch an der Tatsache, daß diese formgebenden Eigenschaften der Elemente der Kristallform organischer Verbindungen ihren ganz bestimmten Stempel aufdrücken, ist nicht zu rütteln. Nun handelt es sich doch aber auch im Pflanzenleben, im Aufbau der Einzelzellen im Grunde nur um solche organische Verbindungen mineralischer Elemente,

Digitized by Google

mögen sie auch noch so kompliziert und noch so wenig bekannt sein, mag ihre Zahl noch so groß sein. Auch diese Verbindungen müssen ganz bestimmten Formgesetzen unterliegen, die, natürlich durch die Einflüsse der umgebenden Außenwelt modifiziert, in gewisser Weise dennoch in der Gestalt des Produkts: der Zellen, der ganzen Pflanze irgendwie zur Geltung kommen müssen. Vielleicht wird die Erforschung der flüssigen Kristalle, die soeben mit Erfolg in Angriff genommen wird, hier neue Anregungen und Fingerzeige geben.

Man möge nicht falsch verstehen. Nicht als ob die einzelnen Atome der den Pflanzenleib zusammensetzenden Elemente nun jedes einen scharfen Einfluß auf das Aussehen des Ganzen äußern sollte. Das hieße die formgebenden Einflüsse der Außenwelt, des Kampfes ums Dasein unterschätzen, zugunsten der einzelnen Bausteine.

Aber wenn man jede Pflanzenform mit Recht als einen Gleichgewichtszustand innerer und äußerer Faktoren auffaßt, dann bedeutet schließlich jeder Hinzutritt eines neuen Faktors oder jede die jedenfalls nicht sehr eng gezogenen Grenzen überschreitende Mengenänderung eines bereits vorhandenen eine Störung dieses Gleichgewichts, die in irgend einer Weise auch in der Form des Pflanzenganzen zum Ausdruck kommen muß. Wie anders ist der Eindruck eines Gebäudes, wenn es z. B. aus Sandstein errichtet, als wenn es aus Granitblöcken gefügt ist, selbst nach dem gleichen Bauplan!

Wenn diese Störung des Gleichgewichts nun zu einer dauernden wird, in Generationen und wieder Generationen wiederholt, so ist nicht einzusehen, warum nicht mit der Zeit eine neue Grundform des Gleichgewichts sich einstellen soll, warum die Beanlagung hierzu nicht allmählich erblich werden soll und immer schärfer dem ganzen Geschlecht seinen Stempel aufprägen!

Gibt man diese Möglichkeit aber für überhaupt irgend einen Lebensfaktor zu, dann dürfen die einzelnen Grundstoffe der Pflanzen erst recht keine Ausnahme machen. Haftet doch die Pflanze fest am Standort, am Boden, und ist somit chemischen spezifischen Einflüssen in ganz besonders

Digitized by Google

hohem Grade ausgesetzt. Es scheint nicht unzulässig, in der Beeinflussung der Pflanzen durch den Boden, respektive durch bestimmte Stoffe des Bodens, einen mitwirkenden Faktor — natürlich beileibe nicht etwa einzigen! — zum Auftreten der Mutation zu suchen, der die neuere Botanik den Hauptanteil an der Entstehung neuer Arten zuschreibt. Ein höherer Anteil am Auftreten von Variationen kommt den chemischen Stoffen des Bodens ja ohne jeden Zweifel zu und ist dies längst als sicher erkannt zu betrachten.

Für die Auffassung des Kalks (in größeren Mengen) als ein starkes Pflanzengift spricht sehr viel. Namentlich niedere Pflanzen, so, um ein besonders krasses Beispiel zu nennen, die Torfmoose (Sphagnen), sind außerordentlich empfindlich selbst gegen geringe Kalkmengen, obwohl auch sie sich durch lange Gewöhnung an selbst verhältnismäßig hohe Kalkgehalte des Standorts anpassen. Etwas Ähnliches gilt auch für sehr viele höhere Gewächse, z. B. den Sonnentau der Moore (Droserarten), verschiedene Farne usw. Auch die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen machen keine Ausnahme, z. B. ist die Kalkfeindlichkeit der gelben Lupine jedem Landwirt wohlbekannt, die Kalkfeindlichkeit der Serradella oft behauptet, aber noch nicht ganz geklärt, und sogar Bäume können oft den Kalk gar nicht vertragen. Schon bei 3% Kalkzusatz zum Boden geht z. B. unsere Edelkastanie rettungslos zugrunde.

Es sind dies eben Gewächse, welche nicht die Fähigkeit haben, durch Ausbildung einer schützenden Struktur, fester, derber Fasern, Verdichtung des Schwammgewebes der Blätter, wie es den „kalkholden" Pflanzen möglich ist, sich gegen den schädlichen Einfluß des Giftes zu schützen, oder die wenigstens erst so allmählich sich anpassen, daß sich dieser Vorgang der Anpassung wegen seiner Langsamkeit unserer direkten Beobachtung entzieht. Denn scharf zu unterscheiden zwischen Pflanzen, die die Fähigkeit haben, sich anzupassen, und solchen, denen diese Fähigkeit fehlt, wäre sicherlich ein Fehler. Scharfe Grenzen und gerade Linien sind Dinge, welche die Natur nicht kennt, ebensowenig wie Ungeduld.

Digitized by Google

Genau die gleichen Gesichtspunkte wie für den Kalk gelten natürlich auch für alle anderen Stoffe, welche energische morphologische Wirkungen auf die Pflanzen entfalten. Das ist in erster Linie das Natrium.

Es ist schon oben betont, daß diesem Element eine außerordentlich große Verbreitung auf der Erde zukommt, indem es sich eigentlich in jedem Boden findet. Nicht genug damit, ist es aber in vielen Böden in Form des Chlornatriums in so extremen Mengen vorhanden, daß es ihnen direkt den Charakter eines Salzbodens aufdrückt, ganz abgesehen von der gewaltigen Fläche des Weltmeeres, der „salzigen Meerflut", die ja nicht nur vom Pflanzenleben nicht entblößt ist, sondern namentlich in wärmeren Zonen Floren von größter Üppigkeit beherbergt.

Die morphologischen Verhältnisse der Meerespflanzen sind allerdings noch so wenig geklärt, daß wir uns auf die Landpflanzen in unserer Betrachtung beschränken wollen.

Als Grundzug der Wirkung des Kochsalzes — um dieses handelt es sich ja zumeist, und alle übrigen Salze scheinen im großen die gleichen Wirkungen auszuüben — kann man aufstellen: Salz wirkt wie Trockenheit, aber in sehr verschärfter und durch chemische Einflüsse modifizierter Weise.

Diese Trockenwirkung des Salzes kann nach obigen Ausführungen nicht überraschen. Nur verdünnte Lösungen vermag ja die Pflanze aufzunehmen. Salz ist leicht löslich, die Bodenflüssigkeiten werden sich also in salzhaltigen Böden leicht mit Salz sättigen. Und schon einer 3prozentigen Salzlösung vermag die Pflanze nicht ein Spürchen Wasser mehr zu entziehen! Wenigstens theoretisch nicht, praktisch sind sie auf heute noch ungeklärte Weise doch oft dazu in der Lage. Als spezifisch kommt dann noch der Umstand hinzu, daß das natürlich mit aufgenommene Salz bei der Verdunstung im Pflanzeninnern sich anhäuft und hier auch noch direkt wasserentziehend auf den Pflanzenleib wirkt.

Digitized by Google

Als Folge der doppelten Einwirkung haben wir dann ein Äußeres der Pflanze, das das Extrem xerophiler[1]) Anpassung vorstellt.

Die Notwendigkeit, mit wenig Wasser auszukommen, und vor allem auch die Konzentration der im Innern vorhandenen Salzlösung nicht auf einen tödlichen Grad steigen zu lassen, hat zur äußersten Einschränkung aller der Transpiration dienenden Organe geführt. „Blattreduktion bis zur völligen Kahlheit, senkrechte Stellung der Blätter, Wachsbildungen und innere Veränderungen, reichere Behaarung und Verstecken der Spaltöffnungen, dicke Oberhäute und namentlich Ausbildung von Wassergeweben sind so die gewöhnlichsten diesem Zwecke dienenden Mittel. Blattverdickungen, Sukkulenz benannt, lassen sich experimentell ohne jede Schwierigkeit erzielen, andererseits durch Versetzen sukkulenter Pflanzen auf salzarmen Boden wieder aufheben. Alle diese Folgeerscheinungen ruft aber auch bloße Trockenheit hervor. Man denke z. B. an die Kakteen, das Urbild der Xerophilen."

Viel schwieriger in ihrer Wirkung zu verstehen sind die auf chemische Salzwirkung zurückzuführenden Erscheinungen: der Mangel an Verholzung, die Verringerung der Blattgrünmenge und vor allem das Offenstehen der Spaltöffnungen bei vielen Salzpflanzen (Halophyten). Letzteres muß wohl, da es geeignet ist, die zu vermeidende Transpiration zu steigern, als eine direkte Schädigung aufgefaßt werden.

Die Ansätze zu solchen Halophytencharakteren lassen sich experimentell, wenn natürlich auch nur in ganz geringem Grade, bei sehr vielen Pflanzen erzeugen. Im allgemeinen gilt der von Richter festgestellte Grundsatz, daß, je einfacher organisiert ein pflanzliches Wesen ist, es sich desto leichter an Salzgehalt oder ähnliche Schädigungen überhaupt anzupassen vermag.

Von sonstigen Stoffen ist in ihrer Einwirkung auf die Pflanzenform besonders noch das Zink studiert. Es gibt sogenannte Galmeiböden, die sich durch besonders hohen Gehalt an Zink auszeichnen. Auf diesen Böden sind Pflanzen

[1]) Trockenanpassung.

Digitized by Google

erwachsen, die ursprünglich mit Sicherheit weit verbreiteten Arten angehörten, heute aber eigene konstante Arten bilden. So das auch in weiteren Kreisen bekannte Galmeiveilchen, der Zinkthlaspi und andere mehr. Auffallend genug sind die Formunterschiede zwischen der neuen und der Ursprungsform bei allen diesen Gewächsen. Aber — und da macht heute noch jede Theorie halt — die Unterschiede sind keineswegs bei allen Pflanzen gleichmäßige. „Das Zinkveilchen hat kleinere Blüten als die am nächsten stehenden Arten, es ist auch reicher verzweigt, etwas höher, kurz ziemlich anders als die nicht an Zinkgehalt des Bodens angepaßten anderen Veilchen. Aber bei dem Zinkthlaspi ist es wieder gerade umgekehrt. Die Blüte ist größer, der Wuchs durchaus nicht höher, dafür die Blüte nicht unwesentlich anders geformt. Das Zink wirkt auf zwei Pflanzen durchaus verschieden. Wir müssen uns auf Experimente, die noch niemand bisher angestellt hat und auf neuere Funde vertrösten." (Francé.) Recht bemerklich sind auch die Abweichungen von der Norm bei Pflanzen, die auf Serpentingestein erwachsen sind. Aber wie aus dem Studium der Galmeipflanzen, wurde man bisher auch aus dem dieser Gewächse keineswegs klug. Immerhin ist es bei den Serpentinpflanzen gelungen, die Serpentinform in die ursprüngliche wieder überzuführen durch einfache Züchtung auf serpentinfreiem Nährboden. In der sechsten Generation trat erst dieser hochinteressante Übergang, dann aber auch mit einem Schlage, ein.

Die Mehrzahl der anderen noch in Pflanzen gelegentlich oder auch häufig vorkommenden Elemente ist auf ihre formgebende Eigenschaft noch nicht untersucht, oder aber es scheiterten derartige Untersuchungen an den oligodynamen Wirkungen der Substanzen, die in der zur Anwendung kommenden Form als absolut tödliche Gifte wirkten.

Immerhin wird man trotz dieser noch recht lückenhaften Kenntnisse Francé recht geben müssen, wenn er schreibt: „So viel scheint sicher zu sein, daß die chemische Zusammensetzung des Erdbodens ein direkt artenbildender Faktor ist."

Digitized by Google

5. Der Einfluß der chemischen Bodeneigenschaften auf die Zusammensetzung der Flora.

Wenn nach allem der chemischen Zusammensetzung des Bodens ein nicht zu unterschätzender Einfluß auf Bau und Leben des einzelnen Pflanzenindividuums eingeräumt werden muß, so ist es eine nicht abweisbare Folgerung, daß ein solcher Einfluß in mindestens demselben Grade auch gegenüber der Gesamtflora eines Bodens besteht.

Extreme Bodenzusammensetzung drückt, wie der Gehalt an Zink usw., der ganzen Flora ihren Stempel auf, wirkt gewissermaßen auslesend, indem nur diejenigen Pflanzen sich zu behaupten vermögen, die sich den gegebenen Verhältnissen durch Änderung ihres Baues und ihrer Lebensweise anpassen können oder in ihnen gerade das Optimum des Gedeihens finden.

Genau das gleiche Prinzip der Auslese des Passendsten wirkt im Pflanzenleben ganz allgemein. Ganz abgesehen von den physikalischen Faktoren, die natürlich gleichfalls von höchstem Einfluß auf die Gestaltung der Flora eines Erdstrichs sind — denn es versteht sich, um Extreme anzuführen, doch von selbst, daß bei einer Temperatur unter 0° tropische Gewächse nicht gedeihen können — reguliert der Gehalt des Bodens an Nährstoffen die Zusammensetzung der auf ihm erwachsenden Pflanzengemeinschaft, vorausgesetzt, daß des Menschen Hand nicht die natürliche Entwicklung stört, was freilich in Deutschland nur noch an den wenigsten Stellen der Fall ist.

Ganz allgemein kommt zunächst in Betracht, ob der Boden, oder richtiger, der Standort — denn auch die Flora des Wassers gehorcht denselben Gesetzen — reich oder arm an Nährstoffen ist.

Wir sehen auf reichen Böden eine viel artenreichere, üppigere Flora gedeihen, als auf armen Böden, wo wir Arten mit geringer Massenentwicklung in spärlicher Verbreitung finden, so daß der floristische Charakter der Gebiete ein ganz verschiedener ist. Um allgemein bekannte Beispiele für

Digitized by Google

beide Extreme anzuführen: Man vergleiche Laubwald auf reichem üppigen Boden mit seinen hochragenden Stämmen, seinem dichten Unterholz, der üppigen Untervegetation von Kräutern und Gräsern mit dem dürftigen Pflanzenkleide der sandigen Gebiete unserer Heimat, von den Dünen mit ihrer gänzlichen Vegetationslosigkeit, die noch auf anderen Ursachen beruht, ganz abgesehen: verkrüppelte Kiefern, hin und her ein ärmlicher Wacholderstrauch, kaum ein Gras, dafür anspruchslose Moose und Flechten!

Es erklärt sich diese abweichende Florengestaltung nun von Anfang her jedenfalls nicht so, daß stets und immer auch die Vorfahren der heutigen Gewächse teils arme, teils reiche Böden liebten. Im Gegenteil! Durchweg sucht jedes Geschöpf die reichsten Lebensbedingungen am liebsten auf und gedeiht in der Regel unter ihnen auch weitaus am besten. Wächst doch z. B. der mit dem ärmsten Dünensande vorlieb nehmende Strandhafer auf reichem Gartenboden leicht zu ganz erstaunlicher Höhe heran, die er unter normalen Verhältnissen nun und nimmer erreicht.

Auch die Vorfahren der heutigen Gewächse wuchsen wohl zunächst auf allen Böden. Da die ärmeren Böden anspruchsvolleren unter ihnen eine freudige Entwicklung nicht gestatteten, wurden sie auf diesen Böden von weniger anspruchsvollen Pflanzen überwuchert, erstickt, im Lebenskampfe beseitigt. Auf einem ihnen wirklich zusagenden reichen Standorte verfuhren diese Pflanzen mit ihren weniger anspruchsvollen Konkurrenten, die die gebotenen Lebensbedingungen nicht wie sie durch schnelles und üppiges Wachstum auszunutzen vermochten, nicht weniger unbarmherzig. Wenn auch still und lautlos wütet der Kampf ums Dasein im Pflanzenreiche nicht weniger grausam als unter der Tierwelt, schließt allerdings auch ebensowenig wie in der Tierwelt die gegenseitige Hilfe in der Entwicklung aus, die meist da am stärksten einsetzt, wo sie am nötigsten ist, also bei stärkster Konkurrenz.

So sehen wir in der Form der Mykorhiza (Pilzwurzel) zahllose Pflanzen, vornehmlich Waldbäume, mit Pilzen eine

Digitized by Google

Lebensgemeinschaft eingehen. Der Pilz überzieht in dichtem Geflecht die Wurzelenden, dringt in die Wurzelzellen der höheren Pflanzen ein und entnimmt ihnen, wie ein echter Schmarotzer, kohlenstoffhaltige Nahrung. Aber er zeigt sich auch dankbar für das Gewährte. Mit seinen sauren Ausscheidungen löst er die der höheren Pflanze unzugänglichen Mineralstoffe des Bodens und gibt sie zur Verarbeitung an seinen Wirt weiter! Die Frage der Pilzwurzel ist noch herzlich wenig geklärt. Es müssen daher diese kurzen Andeutungen genügen, da ein näheres Eingehen zu weit vom eigentlichen Thema abführen würde.

Einen experimentellen Beweis für die Richtigkeit der Behauptung, daß größerer Nährstoffreichtum eines Bodens aufs schärfste die Zusammensetzung der Flora eines Bodens beeinflußt, liefert unzählige Male die landwirtschaftliche Praxis. Es ist jedem Landwirt bekannt, daß bei starker Düngung seiner Wiesen, ohne daß er andere Pflanzen ansät, allmählich die schlechten Gräser und Kräuter mit geringem Nährwert, die bisher den Hauptbestand der Wiese ausgemacht haben, da sie allein mit den geringen Nährstoffmengen, die der Standort bot, bei ihrer langsamen Entwicklung auszukommen vermochten, von ihren schnellwüchsigen Konkurrenten, den Süßgräsern und Kleearten, die freilich zu ihrem schnellen Wachstum auch größerer Nährstoffmengen bedürfen, verdrängt werden. Oft bietet schon in wenigen Monaten eine gedüngte Wiese eine ganz andere Flora als vorher.

Hinzu kommt noch, daß heute wohl für viele der an arme Standorte angepaßten Gewächse eine reiche Nährstoffmenge, die ihnen plötzlich zur Verfügung gestellt wird, direkt wie Gift wirkt, da sie sich in zahllosen Generationen an eine geringe Konzentration der Bodenlösung angepaßt haben und diese Gewöhnung nicht mit einem Schlage, sondern nur ganz allmählich, wieder in Generationen, abzulegen vermögen.

Auch den entgegengesetzten Verlauf der Dinge, die Verdrängung einer anspruchsvollen Flora durch eine bescheidenere, können wir oft genug verfolgen. Ein sehr schönes Beispiel

Digitized by Google

bieten unsere Moore, wenn ihre Entwicklung nicht durch Menschenhand gestört wird.

Eine Ansammlung nährstoffreichen Wassers, sei es ein See, sei es ein kleiner Teich, wächst durch eine reiche Vegetation von Pflanzen des freien Wassers, Seerosen usw. nicht sowohl, als durch eine üppige Strandvegetation von Rohr und Großseggen zu. Bald ist die freie Wasserfläche verschwunden, Pflanzen des Landes siedeln sich zwischen dem Rohr, den Großseggen an. Aus dem See oder Teich wird mit der Zeit ein nährstoffreiches Niederungsmoor, das sich, seinem Reichtum entsprechend, mit einer vielgestaltigen Flora überzieht.

Doch im Laufe der Jahre werden die obersten Bodenschichten, die sich durch die vertorfenden Leiber der abgestorbenen Gewächse wenn auch langsam und unmerklich, so doch wohl etwas erhöhen und damit immer mehr von den Mineralböden, den eigentlichen Lieferanten der Nährstoffe, entfernen, durch die Niederschläge, die sie auswaschen, ärmer und ärmer. Dürftiger und immer dürftiger wird entsprechend die Flora. Die kleinen Seggen und verwandten Gewächse verdrängen allmählich, Schritt für Schritt, die Großseggen, Süßgräser und Kräuter. Moose und Flechten treten in immer größerer Menge auf.

Bald siedelt sich die erste Heidekrautstaude an und in ihrem Schutze folgen sehr schnell die Sphagnen, die Torfmoose, die wie eine höher und höher schwellende Woge allmählich die ganze Moorfläche überfluten und in ihrem schwammartigen Körper große Wassermassen festhaltend, das Gelände mehr und mehr versumpfen, die Oberfläche mehr und mehr von den reichen Nährstoffmengen der Tiefe absperren, sich damit in ihrer ausgesprochenen Bedürfnislosigkeit, ja Nährstoffeindlichkeit selbst immer bessere Lebensbedingungen schaffend. Freilich sagen diese Lebensbedingungen: äußerste Armut an Nährstoffen (die vielleicht sogar nur durch den Staub der Winde ins Hochmoor gelangen!) bei Überfluß an Wasser, das dazu noch deutlich sauer reagiert, nur außerordentlich wenigen Gewächsen zu. Die Folge ist

Digitized by Google

die ermüdende Eintönigkeit der großen Hochmoore in der Zusammensetzung ihrer Flora und in ihrem landschaftlichen Charakter, eine Eintönigkeit und Öde, die sich freilich oft genug, wie in den Tundern des Nordens, zu überwältigender Wirkung steigert.

So sehen wir den Nährstoffgehalt des Bodens am Kleid der Erde modeln, indem er in den durch das Klima im weitesten Sinne des Wortes gezogenen großen Grenzen die Zusammensetzung und Entwicklung der Flora im einzelnen bestimmt als ein ökologischer Faktor allerersten Ranges, dessen Einfluß so auffallend und unverkennbar ist, daß sich, unbewußt freilich der großen Gesetzmäßigkeiten, der praktische Landwirt ihn schon längst in der Weise zunutze gemacht hat, daß er aus der Zusammensetzung der wildlebenden Flora — daß nur diese in Betracht kommen kann, versteht sich von selbst — auf die Zusammensetzung des Bodens schließt.

Ärmliche Pflanzen, armer Boden. Moose und Flechten, harte und saure Gräser lassen den Schluß zu, daß ihr Standort arm und ungeeignet zur Ernährung anspruchsvollerer, aber auch ertragreicherer und wertvollerer Gewächse sei und also die Düngung notwendig erscheint. Andererseits gilt das Auftreten der Quecke (Triticum repens), so sehr man sie sonst zu vertilgen sucht, doch als Zeichen einer gewissen Ackergüte, ebenso wie das der Distel, denn: „Wo Quecke und Distel wachsen, wächst anderes auch".

Ja, der Landmann hat sich nicht begnügt, nur allgemeine Schlüsse auf Reichtum oder Armut eines Bodens aus dem Vorkommen gewisser Pflanzen zu ziehen. Auch auf einzelne Nährstoffe lassen nach seinen Beobachtungen gewisse Pflanzen einen bestimmten Schluß zu, der sehr häufig das Richtige trifft. Wo Beinwell und Brennessel wächst, ist stickstoffreicher Boden, Huflattich zeigt reichen Kalkgehalt an, freilich oft nicht in der Ackerkrume, sondern erst im Untergrund, Sauerampfer und gelbe Wucherblume bezeichnen Fehlen des Kalkes und die Notwendigkeit schleuniger Kalkung.

Digitized by Google

Daß so auffallende Floren, wie besonders die der salzliebenden Pflanzen (Halophyten) mit ihren seltsamen Anpassungserscheinungen, die weiten Ländergebieten einen eigenartigen Stempel aufprägen, richtig allgemein erkannt und gedeutet sind, versteht sich von selbst.

IV. Nutzanwendung der Theorie in der Praxis.

1. Der Begriff der Düngung. Die Ermittelung des Düngungsbedürfnisses der Pflanzen und Böden.

Die Natur kennt keine gerade Linie. Selbst die Kante eines noch so regelmäßigen Kristalls, die fast als das Prototyp einer geraden Linie bei bloßem Hinsehen gelten könnte, löst sich vor dem durch das Mikroskop geschärften Forscherauge in kleine gekrümmte Kurven auf, und mit dem Auge der Theorie gesehen, stellt sie gar eine zwar nicht regellose, aber doch alles andere eher als eine gerade Linie bildende Reihe von Molekülen und Molekülsystemen vor. Diese ihrerseits setzen sich aus den einzelnen Atomkomplexen zusammen, als deren letzte Einheit vielleicht die Elektronen, die schwingenden Teilchen der Ursubstanz „Elektrizität" zu betrachten sind. Ist doch allem Anschein nach die ganze Materie nur eine Erscheinungsform der Energie, der allgegenwärtigen, alles beherrschenden, die niemals zum „Leben" erst zu erwachen brauchte, weil sie selbst in all und jeder Form das „Leben" ist. Und daß die elektrische Energie sich nicht in geraden Linien, sondern in Schwingungen, wenn auch in geradliniger Richtung fortpflanzt, ist eine allbekannte Tatsache.

Aus diesem Fehlen der geraden Linie in der Natur folgt aber, daß auch alle Naturprozesse nicht schlechtweg jemals dem Gesetz der Geradlinigkeit gehorchen werden, daß es sich auch hier um Gesetze handeln wird, die in gekrümmten Linien ihren graphischen Ausdruck finden, ja in der Mehrzahl der Fälle um in sich geschlossene Kurven, deren Grundlagen völlige Kreisprozesse in der Natur sind.

Digitized by Google

Ein Beispiel eines solchen Prozesses bietet der Kreislauf der mineralischen Pflanzennährstoffe. Auf ödem Felsgestein, vegetations- und lebenslos dem Meere entstiegen, siedeln sich die niedersten pflanzlichen Organismen an, denen die Fähigkeit zukommt, mit völlig anorganischer Nahrung vorlieb zu nehmen, siedeln sich an, nicht nur in einzelnen Gattungen, sondern bald in ganzen Lebensgemeinschaften nach dem Prinzip der gegenseitigen Hilfe, das freilich den Kampf ums Dasein keineswegs ausschließt.

Ihre Ausscheidungen lösen die Mineralien des Bodens. Generation auf Generation kommt und vergeht, frißt tiefer ins Feldgestein hinein, unterstützt von den physikalischen und chemischen Faktoren der Verwitterung, und bereitet, indem sie der entstehenden Krume die dem Boden entzogenen Stoffe beim Tode wiedergibt, allmählich das Land für eine Folge höherer pflanzlicher Gewächse.

Eine Pflanzengemeinschaft folgt so auf die andere, stetig dem Boden Stoff entnehmend, aber auch wieder in ihren Leibern zuführend, mögen zwischen Aufnahme und Ersatz an Ort und Stelle — das ist der springende Punkt — nur wie bei niederen Gewächsen wenige Tage, oft Stunden, oder wie bei Bäumen und baumartigen Gewächsen Jahre und Hunderte von Jahren liegen.

Stets gibt im natürlichen Verlauf der Dinge, wenn nicht gewaltige Naturereignisse störend eingreifen, die Pflanze ihrem Standort in großen Zügen wieder, was sie ihm entnahm. Der Standort als Ganzes bleibt an Nährstoffen unerschöpft.

Freilich, der Reichtum der einzelnen Schichten desselben Standorts kann durch den Einfluß der Vegetation sehr stark wechseln. Wir sehen humose Ablagerungen, Muttererde sich bilden, die viele Kilogramm der verschiedenen Mineralstoffe enthält, die eigentlich dem Untergrunde entstammen.

Die Wurzeln haben diese Stoffe aus der Tiefe geholt, der verwesende oberirdische Leib der Pflanze gibt sie der Oberfläche wieder, die so oft reicher wird, als je der Grund und Boden da von Natur gewesen.

Digitized by Google

Andererseits lösen namentlich die Humussäuren der verwesenden Blättermassen viele Stoffe aus der Oberfläche oder aus weniger tiefen Schichten, um sie dem Untergrunde zuzuführen, bis andere Pflanzen vielleicht das Spiel wiederholen und so auch diesen kleineren Kreislauf der Stoffe, in welchen natürlich auch die Atmosphärilien, Regen und Schnee mit ihren lösenden und wegschaffenden Wassermassen eingreifen, schließen. Dieser Kreislauf, der die einzelnen Stoffe vom Bodenmineral zum lebenden Pflanzenleib, aus den Tiefen der Erde in luftige Höhen des Blätterdachs der Baumriesen und wieder zurück führt, sich aber stets am gleichen Orte vollzieht, ist freilich auch in dieser Form schon mächtig genug, um das Wechseln der Pflanzengemeinschaften je nach dem Reicher- oder Ärmerwerden der der Pflanzenernährung dienenden Schichten des Bodens zu veranlassen.

Die geringen Mengen an Nährstoffen, welche den Orten durch Wegfliegen von Samen und Blättern endgültig verloren gehen, die im Leibe der Tiere, welche sich von den Pflanzen nähren, entfernt werden, kommen für diesen großen Kreislauf kaum in Betracht, vermögen jedenfalls die Nährstoffbilanz des Ortes im weiteren Sinne nicht zu erschüttern. Denn Samen, Blätter und Tiere sind in ihrem Lebenslauf eng lokal beschränkt, und solche Verluste gleichen sich zudem in weiten Grenzen durch Gewinste in gleicher Art und Höhe aus, wenn geologische Faktoren nicht eingreifen, die hier aber außer Rechnung bleiben, ebenso wie geologische Zeiträume, in denen Klimawechsel usw. natürlich das Bild verschieben.

Den großen Kreislauf der Mineralstoffe zu stören, ist nur der Mensch befähigt und wird es immer mehr, je mehr mit Vervollkommnung aller Verkehrsmittel die „Entfernung" ein wesenloser Begriff wird.

Der erste Ackerbauer, der sein Stückchen natürlichen Geländes urbar machte, darauf Holz fällte, Getreide baute, Vieh zog, verzehrte seine Produkte auch auf seiner Scholle, beschloß auf ihr in den meisten Fällen seinen Lebenslauf. Die durch seine Tätigkeit eintretende Verschiebung der

Digitized by Google

Mineralstoffe hielt sich in bescheidenen engen Grenzen, wenngleich sie sich auch auf diese Weise bald wohl so stark zeigte, daß Böden, von welchen jahrelang Ernten und mit ihnen Nährstoffe ohne Ersatz entnommen waren, sich als abgebaut, d. h. nicht mehr fähig, anspruchsvolle Kulturgewächse zu ernähren, erwiesen. Dann zog er weiter und es wiederholte sich an anderen Orten dasselbe Spiel, und der abgebaute Acker hatte Zeit, mit Hilfe der natürlichen Flora aus dem Untergrunde sich allmählich wieder anzureichern, um nach längerer Pause eine abermalige Nutzung zu gestatten.

Damals war der Wert eines Stückes Land jedenfalls ein hoher nicht. Die zunehmende Bevölkerung, der damit steigende Wert von Grund und Boden trieb aber gar bald zu besserer Ausnutzung. Bessere Pflege der Kulturpflanzen, vor allem ihre geeignetere Auswahl, ermöglichte höhere Ernten, die, wenn sie zu hoch waren, um an Ort und Stelle verzehrt zu werden, daher verkauft, vertauscht, jedenfalls abgegeben wurden. Generationen hindurch gesammelte Beobachtungen und Erfahrungen führten zur Aufstellung von Fruchtfolgen, d. h. möglichst auf Ausnutzung des Bodens zielende Pflanzenfolgen, was naturgemäß eine wesentliche Steigerung der Ernte bedeutete.

Mit der Steigerung der Ernten aber wächst auch der Verbrauch an Pflanzennährstoffen im Boden, wächst um so stärker, je mehr von den Produkten vom Erzeugungsort durch Verkauf usw. nach anderen Orten verschwindet, wo nur eine teilweise oder gar keine Rückkehr der in den Feldprodukten enthaltenen Mineralien zum Boden möglich ist, wie in den Städten. Es war dementsprechend, wie im kleinen beim Abbau des Einzelfeldes, so hier im großen für die gesamte Landwirtschaft nur eine Frage der Zeit, daß ein Versiegen der ursprünglichen Bodenreichtümer eintreten mußte, ein Versiegen, das gar bald einen Ersatz nötig machte, wenn anders der Boden noch ertragreich bleiben sollte. Denn ein Weiterziehen und Liegenlassen des Bodens war natürlich bei gestiegener Menschenzahl nicht mehr möglich.

Digitized by Google

Die Beobachtung hatte gezeigt, daß Böden ertragreicher wurden, wenn man Exkremente, Pflanzen- und Tierteile usw. darauf brachte. Und bald, schon in den ältesten Zeiten der Landwirtschaft, wuchs sich dies Verfahren zu einer wohl in Rechnung gezogenen Maßregel, zur Düngung aus, ohne daß man sich freilich wohl in der Mehrzahl der Fälle über den eigentlichen Grund dieser Maßregel und ihr Wesen, den Ersatz der entzogenen Mineralstoffe, klar wurde. Das war erst späteren Zeiten vorbehalten, die den Begriff „Fruchtbarkeit" in seine Faktoren zerlegten und in den Mineralstoffen und den sonst den Pflanzenleib zusammensetzenden Elementen die Grundlage des pflanzlichen Lebens überhaupt erkannten.

Es würde zu weit führen, die Lehre von der Düngung in allen ihren mannigfaltigen Stadien zu verfolgen. Wenden wir uns daher gleich der neueren und neuesten Zeit als den wichtigsten zu.

Nachdem durch Liebig und seine Vorarbeiter und Nachfolger die Wichtigkeit der Mineralstoffe der Pflanzen und ihre Gebundenheit an den Ort erkannt war — es gilt das auch im allgemeinen für den Stickstoff und bedeutet eine Behandlung hier daher ein gewisses nicht vermeidliches Vorgreifen — war nur ein Schritt bis zu der Forderung, man müsse, um dem Boden seine Fruchtbarkeit zu erhalten, einfach ihm die Stoffe wiedergeben, die die auf ihm erwachsenen und anderweitig verwerteten Pflanzen ihm entzogen hätten. Diese Forderung erhebt die sogenannte „Ersatztheorie" von Liebig in der Tat.

Man glaubte lange Zeit und glaubt es in vielen Kreisen von Praktikern auch heute noch, daß man nur einfach die entnommenen Stoffe dem Boden wieder zuführen müßte, um eine ständige Fruchtbarkeit zu sichern. Diese Mengen kannte man durch Analysen der Pflanzensubstanzen sehr bald genau genug. Um nur wenige Beispiele anzuführen, entnehmen dem Boden pro Hektar in Kilogramm:

Digitized by Google

		Ertrag in dz	Entnahme in kg pro ha		
			Phosphorsäure	Kali	Kalk
Winterweizen	Korn	25	20	12	2
	Stroh	50 > 75	10 > 30	30 > 42	15 > 17
Winterroggen	Korn	15	12	9	1
	Stroh	60 > 75	15 > 27	50 > 59	18 > 19
Sommergerste	Korn	20	15	10	1
	Stroh	25 > 45	5 > 20	25 > 35	10 > 11
Hafer	Korn	25	12	10	2
	Stroh	45 > 70	10 > 22	75 > 85	18 > 20
Raps	Korn	20	33	19	11
	Stroh	30 > 50	7 > 40	34 > 53	34 > 45
Lupinen (gelb)	Korn	15	20	15	4
	Stroh	15 > 30	4 > 24	25 > 40	14 > 18
Erbsen	Korn	15	12	15	2
	Stroh	30 > 45	10 > 22	30 > 45	48 > 50
Feldbohnen	Korn	20	18	18	3
	Stroh	35 > 55	12 > 30	72 > 90	42 > 45
Kartoffeln	Knollen	180	30	100	5
	Laub	45 > 225	5 > 35	20 > 120	22 > 27
Futterrüben	Wurzeln	400	30	190	12
	Blätter	100 > 500	10 > 40	45 > 235	16 > 28
Wiesenheu		60	25	100	60
Tabak		20	12	80	100

Die Zusammenstellung, zu welcher eine weitere Erläuterung sich wohl erübrigt, erstreckt sich nur auf die Mineralstoffe: Phosphorsäure, Kali und Kalk. Es entspricht dies durchaus den Erfordernissen der Praxis, für welche nur diese Zahlen Wert besitzen. Denn wenngleich natürlich auch die Ausfuhr der anderen mineralischen Nährstoffe aus dem Boden eine beträchtliche ist (und zwar von den als unbedingt notwendig geltenden Stoffen. Von den nur nützlichen ist dabei ganz abgesehen, die oft, wie die Kieselsäure, in ganz überwiegenden Mengenverhältnissen in Pflanzen vorkommen [s. o.]), so kann man auf Grund allgemeiner praktischer und theoretischer Erfahrung doch behaupten, daß heute eine Gefahr, ins Minimum zu kommen, oder aber bereits auf einzelnen besonders sandigen, leichten Böden ins Minimum gekommen zu sein, nur für die genannten drei Elemente besteht, welchen sich als viertes heute bei allen Düngungsmaßregeln zu berücksichtigendes Element der Stickstoff anschließt.

Digitized by Google

Alle anderen Elemente scheinen die bisher bekannten Böden noch in solchen Mengen zu enthalten, daß die Pflanze ihren Bedarf daran ohne Zutun decken kann. Es braucht für eine Zufuhr dieser Stoffe, wie des Eisens, des Magnesiums usw. zum Boden, soweit eine solche nicht ohnehin unbeabsichtigt geschieht, da diese Elemente Nebenbestandteile von Düngemitteln bilden, noch keine Sorge getragen zu werden. Es kann nicht übersehen werden, wann dieser Zustand einmal sein Ende erreichen wird, verschieden natürlich nach der Art der Böden und Wirtschaftsmethoden. Für das Magnesium scheint in vielen Gegenden der Zeitpunkt des eintretenden Mangels im Boden schon gekommen zu sein. Wenigstens läßt der gute Erfolg der Anwendung von Kalirohsalzen im Verhältnis zu dem der Anwendung reiner Salze sich kaum anders als durch den Gehalt dieser Rohsalze an Magnesium erklären. Genaue Versuche müssen hierüber Klarheit schaffen.

Daß der Zeitpunkt des Mangels auch an anderen Elementen als den obengenannten vier bei vielen Böden mehr oder weniger schnell eintreten kann, ja eintreten muß, ist eine ganz einfache Folgerung daraus, daß es eben für die vier Elemente auch erst geschehen ist und wir in diesem Zustand keineswegs etwa ein allgemeines ursprüngliches Merkmal der Böden zu erblicken haben.

Im Gegenteil! In neuen der Landwirtschaft eröffneten Gebieten, wie dem Westen Nordamerikas am Ende des vorigen Jahrhunderts, oder Teilen von Argentinien noch heutzutage, der Schwarzerderegion Rußlands usw., brachte und bringt jahre- selbst jahrzehntelang der Boden ohne irgendwelchen Ersatz an verloren gegangenen Nährstoffen bei geringster Wartung und Pflege hohe Ernten hervor. Aber, wie man es in Amerika und anderen Gebieten direkt beobachten kann: nach einer gewissen Reihe von Jahren lassen die Erträge der Böden nach, bis sie schließlich ein so geringes Maß erreichen, daß von einer Rente solcher Raubwirtschaften keine Rede mehr ist. Es ist dann eben der Vorrat des Bodens an für die Pflanze aufnehmbaren Nährstoffen — und nur auf die

Digitized by Google

Menge der aufnehmbaren Stoffe und nicht auf ihre Gesamtmenge im Boden kommt es natürlich an — erschöpft. Es sind Stoffe — welche zuerst, hängt natürlich von dem geologischen Charakter des Bodens ab — ins Minimum geraten, wenn auch natürlich nicht ganz aus der Bodenlösung verschwunden, da die Verwitterung ja immer ein gewisses Maß von Nährstoffen alljährlich neu verfügbar macht. Jedenfalls vermögen diese geringen Nährstoffmengen eine hohe Ernte mit ihrem großen Bedarf an Mineralstoffen nicht mehr zu produzieren. Man muß, wenn man das Land nicht jahrzehntelang vollständig sich selbst überlassen will, um den natürlichen Faktoren der Bodenumgestaltung Gelegenheit zu geben, einen neuen Fonds verwertbarer Pflanzennährstoffe — es handelt sich, wie gesagt, heute durchweg erst um eine Abnahme des Vorrats an verwertbaren Verbindungen des Stickstoffs, Kalis, Kalks und der Phosphorsäure — in dem Boden zu schaffen, diese dem Boden zuführen. Landwirtschaftlich gesprochen: Der Raubbau muß zur geregelten Düngerwirtschaft werden.

Es schließt dies natürlich nicht aus, daß man von der Beihilfe des Bodens, wenn man so sagen darf, natürlich nur auf Böden, die überhaupt einen gewissen Fonds schwerlöslicher Stoffe in sich haben, also den sogenannten guten Böden, in gewissem Umfange durch die Maßregel der Brache, d. h. das Liegenlassen in unbebautem Zustande während eines Jahres, ev. einiger Jahre, Gebrauch macht. In welchem Grade Brache eine erhöhte Ausnutzung der Bodenvorräte an Mineralstoffen ermöglicht, ist schwer zu bestimmen, von der Verschiedenheit der Böden noch ganz abgesehen. Ihre äußerst günstige Wirkung auf Böden, wohin sie gehört, ist zweifellos. Diese steht allerdings zum Teil zur später zu behandelnden Stickstofffrage in Beziehung, zum Teil beruht sie auf wirtschaftlichen Gründen, die uns hier nicht interessieren. Es möge daher dieser kurze Hinweis genügen.

Daß Brache, mit Unrecht als eine Ruhe des Ackers betrachtet, die Düngung nicht ersetzen kann, ist selbstverständlich. Stets muß auch bei intensivster Anwendung der Brache, deren Übertreibung sich aus Gründen der Rentabilität übrigens

Digitized by Google

ganz von selbst verbietet, da sie ja immer den Verzicht auf eine Jahresernte bedeutet, eine Düngung der bebauten Felder unter normalen Verhältnissen stattfinden.

Es erhebt sich nun für jeden Landwirt die außerordentlich wichtige Frage, wie er düngen, welche und wieviel der einzelnen Nährstoffe er seinem Boden zuführen soll.

Daß die oben mitgeteilten Zahlen über die Mineralstoffentnahme der Pflanzen nur einen sehr bedingt richtigen Anhalt in dieser Richtung gewähren können, lehrt die nähere Betrachtung. Die ermittelten Zahlen geben an, welche Mengen von Mineralstoffen die Pflanzen im Laufe der Vegetationsperiode aus dem Boden aufgenommen haben. Sie gewähren im Zusammenhang mit Experimenten Auskunft über die Ansprüche der einzelnen Pflanzen an Mineralernährung. Sie vermögen aber nichts darüber auszusagen, wieviel von den schließlich in der Ernte enthaltenen Mineralstoffen die Pflanze zu ihrem Gedeihen in löslicher Form braucht und wieviel sie selbst löslich macht durch die Tätigkeit ihrer Wurzeln. Ist auch dieses nähere Verhältnis für einzelne Pflanzenarten experimentell festgestellt, so ist damit auch noch verhältnismäßig wenig gewonnen. Denn selbst dann sagen derartige Zahlen nur etwas aus über das Nährstoffbedürfnis, in gewissem Sinne auch das Düngebedürfnis der Pflanzen, niemals aber über das Düngebedürfnis der verschiedenen Böden. Und auf dieses kommt es dem Landwirt natürlich in mindestens gleichem Maße an.

Denn was nützt es ihm, zu wissen, daß eine Pflanze so und so viel Phosphorsäure, Kali und Kalk gebraucht, daß sie diese Stoffe in den und den Verbindungen gebraucht, zu der und der Periode ihres Wachstums, wenn er nicht weiß, ob und was von diesen Stoffen sein Boden den Pflanzen zu liefern imstande ist? Er könnte natürlich, um allen Eventualitäten aus dem Wege zu gehen, einfach sämtliche Nährstoffe in Mengen, wie die Analyse der Pflanzen sie als notwendig zu gutem Gedeihen kennen gelehrt hat, dem Boden zuführen. Doch wäre das eine grobe Verschwendung in doppelter Hinsicht, da er einerseits sich große, teilweise sicher unnötige

Digitized by Google

Kosten macht, andererseits auch noch auf die ihm zukommenden Zinsen des Nährstoffkapitals im Boden, den jährlich löslich werdenden Anteil der unlöslichen Stoffe, verzichtet.

Die Pflanzenanalyse gibt hierfür selbstredend keinen Anhalt. Was lag näher, als in der Bodenanalyse ein Mittel zu sehen, sich über die Düngebedürftigkeit der Böden, d. h. ihren Gehalt oder Mindergehalt an verwertbaren Pflanzennährstoffen klar zu werden?

Man hat eine lange Zeit dieser Ansicht gehuldigt. Viele Männer der Wissenschaft haben Zeit und Geld für den Ausbau der Bodenanalysen aufgewandt, ihre besten Kräfte daran gesetzt, in dieses Faß der Danaiden zu schöpfen. Denn als ein solches hat sich, trotz der großen auf sie gesetzten Hoffnungen, die namentlich in Kreisen der praktischen Ackerbauer auch heute noch bestehen, was bei der Kompliziertheit der Sache kein Wunder ist, die Ausgestaltung der Bodenanalyse zu einer brauchbaren Methode zur Bestimmung der Düngebedürftigkeit der Böden für die verschiedenen Pflanzen erwiesen. Es sei versucht, von der Sachlage ein möglichst vollständiges Bild zu geben, um dem Leser ein eigenes Urteil zu ermöglichen, ohne sich dabei zu weit in Einzelheiten zu verlieren.

Bemerkt muß übrigens werden, daß das, was hier vom Kali, Kalk und der Phosphorsäure ausgeführt wird, in vollstem Maße selbstverständlich auch vom Stickstoff gilt, so daß später auf das hier Gesagte verwiesen werden kann.

Schon der Augenschein lehrt bei der Mehrzahl der Böden, daß deren Natur auf verhältnismäßig kurze Entfernungen in weiten Grenzen wechselt. Hellere und dunklere Streifen, sandige und lehmige Stellen treten oft unvermittelt dicht nebeneinander auf, wenn es sich nicht gerade um Böden von so gleichartiger Beschaffenheit, wie Niederungsböden usw., handelt, die dem Auge auf weite Strecken hin, wenigstens bei oberflächlicher Betrachtung, als völlig einheitlich erscheinen. Bei näherem Hinsehen vermag man auch hier meistens erhebliche Abweichungen selbst nahe beieinander genommener Proben voneinander zu konstatieren.

Digitized by Google

Das gleiche Bild bietet sich bei Untersuchung des Bodens in vertikaler Richtung. Nicht genug, daß stets und immer Ackerkrume und Untergrund auseinandergehalten werden müssen, es gleicht keine Schicht des Bodens, die für die Pflanzen in Betracht kommt, der anderen, und es bedarf wohl kaum einer besonderen Betonung, daß Bodenschichten, die schon rein äußerlich als verschieden sich zeigen, in ihrem chemischen Aufbau erst recht Differenzen aufweisen werden, die unmöglich ohne Bedeutung sein können.

Wenn wir demgemäß ein Bild von der chemischen Struktur eines größeren Ackerstücks haben wollen, das einigermaßen der Wirklichkeit entspricht, so müssen wir mindestens so viele Proben entnehmen, als äußerlich Differenzen sichtbar sind, an der Oberfläche und im senkrechten Durchschnitt der Fläche. Diese Proben dürfen natürlich nicht gemischt werden, da das das ganze Resultat völlig verwirrt und wertlos machen würde, sondern sie müssen einzeln verarbeitet werden. Es ist somit, wenn man sich nicht mit mehr oder weniger Phantasievorstellungen über die Natur seines Bodens begnügen will, eine außerordentlich große Anzahl von Einzeluntersuchungen selbst für kleine Bodenstücke schon erforderlich. Abgesehen von der auch dann noch bestehenden Ungenauigkeit der Probenahme und ihrer Fehlerquellen genüge der Hinweis auf die enormen Kosten eines solchen Verfahrens, um von vornherein die Unmöglichkeit eines derartigen Vorgehens zu erweisen, das andererseits, wie hervorgehoben, einzig und allein einen Anspruch auf genügende Zuverlässigkeit erheben darf.

Aber selbst angenommen, ein Landwirt scheue die Arbeit einer derartigen Probenahme und die Kosten nicht. Er liefere Hunderte von Proben ein und lasse sie untersuchen. Dann hat er von der Analyse trotz alledem nur einen ganz geringen Nutzen.

Wissenschaftlich einzig begründet wird zunächst die Ermittlung des Gesamtgehalts einer Bodenprobe an den einzelnen Mineralstoffen erscheinen. Diese Gesamtanalyse wird aber selbst auf den ärmsten Böden stets Gehalte an den einzelnen Nährstoffen nachweisen, die sich pro Hektar selbst

Digitized by Google

bei Annahme einer flachen Ackerkrume auf viele tausend Kilogramm belaufen, d. h. Mengen, die jede Düngung für viele Jahrzehnte hinaus als überflüssig erscheinen lassen; ja für immer, wenn man eine allmähliche Vertiefung der Krume durch intensivere Bearbeitung mit in Rechnung zieht.

Und trotzdem wächst auf einem anscheinend so reichen Boden nicht einmal das ärmlichste Gras! Es ist der bereits oben erläuterte Umstand, daß es gar nicht darauf ankommt, wieviel Nährstoffe der Boden überhaupt enthält, sondern wieviel aufnehmbare Nährstoffe er enthält. Darüber aber kann die Gesamtanalyse ihrer ganzen Natur nach nichts, aber auch gar nichts aussagen, es sei denn, daß sie die völlige Abwesenheit eines notwendigen Nährstoffs nachwiese, was aber eine ganz große Seltenheit ist.

Der Boden wird bei der Analyse in konzentrierten Mineralsäuren gelöst, die natürlich bei genügend langer Einwirkung selbst das hartnäckigste Silikat zersetzen. Mit konzentrierten Säuren arbeiten aber die Pflanzenwurzeln nicht. Sie arbeiten mit kohlensäurehaltigem Wasser, höchstens mit ganz verdünnten Lösungen schwacher organischer Säuren. Sie können infolgedessen vielleicht oft noch nicht den tausendsten Teil von dem in Lösung bringen, was die Gesamtanalyse nachweist. Eine allgemeine Gesetzmäßigkeit zwischen Gesamtgehalt und löslichem Anteil der einzelnen Nährstoffe hat man bisher noch nicht zu finden vermocht und darf wohl, bei der wechselnden Natur der chemischen Verbindungen im Boden, füglich an dem Bestehen eines solchen Verhältnisses zweifeln.

Da wir aber auch nicht wissen, welche Säuren außer der Kohlensäure den Pflanzen zur Verfügung stehen, nicht ihre Konzentration, nicht ihre Wirkungsdauer kennen und was der Lücken in unserer Kenntnis der Nährstoffaufnahme noch mehr sind, so kann „keine der Analysenmethoden, die mit verdünnten Säuren oder gar Salzen arbeiten, behaupten, daß sie eine wissenschaftliche Grundlage besitze". Trotzdem hat man Zitronensäure und andere organische Säuren zur Analyse herangezogen. Man hat mit ihnen die Analysen der auf den betreffenden Böden erwachsenen Pflanzen kombiniert, vergebens!

Digitized by Google

Hin und wieder glaubte man, eine Gesetzmäßigkeit gefunden zu haben. Dem nachprüfenden Forscher entrinnt sie auf anderen Böden aber unter den Fingern. Brauchbare Resultate — d. h. brauchbar für die Praxis, denn theoretisch wohnt unter Umständen solchen Untersuchungen ein hoher Wert inne — hat man auf diese Weise nicht erhalten und darf sie wohl auch kaum erwarten.

Es bleibt noch ein Lösungsmittel zu bearbeiten: kohlensäurehaltiges Wasser. Schon früher ist oft auf dieses Reagens für Bodenuntersuchungen hingewiesen worden. Unvollkommene Arbeitsmethoden vermochten jedoch nichts Rechtes damit anzufangen. In allerneuester Zeit sind die Untersuchungen in dieser Richtung von Mitscherlich wieder aufgenommen worden und scheinen einen besseren Erfolg, dem vielleicht auch praktischer Wert zukommt, in Aussicht zu stellen, weil bei diesen Untersuchungen zum erstenmal in der chemischen Behandlung der Bodenkunde alle mitwirkenden Faktoren: Wärme, Massenverhältnis des Lösungsmittels und der zu lösenden Substanzen usw. die Berücksichtigung gefunden haben, die ihnen nach ihrer ganz unbestreitbar wichtigen Rolle in der Natur auch bei Experimenten zur Vermeidung prinzipieller Fehler zuteil werden muß. Es ist der erste Versuch, unsere schwer vernachlässigte, bisher fast rein empirisch behandelte Bodenkunde auf die einzig verläßliche Basis aller Naturwissenschaften zu stellen: die theoretisch-mathematische.

Daß große Erfolge dieser Behandlungsweise der Probleme nicht fehlen werden, steht außer allem Zweifel. Ob die Bodenanalyse, die uns hier allein interessiert, damit wirklich direkt für die Beurteilung der Böden wird verwertbar werden, ist eine noch nicht unbedingt zu bejahende Frage.

Denn ein großer Faktor bleibt auch bei dieser Analyse, wie bei jeder anderen, ausgeschaltet und muß seiner Natur nach für immer ausgeschaltet bleiben: die Individualität der Pflanzen.

Individualität der Pflanzen im weitesten Sinne des Wortes. Nicht nur, daß jedes Pflanzeneinzelwesen verschieden die

Digitized by Google

Nährstoffe aufzunehmen befähigt ist, die ihm in wässeriger Lösung geboten werden — wäre es nur dieser Umstand, so ließe sich ein Ausgleich dieser Fehlerquelle wohl ohne weiteres erzielen — aber jede Pflanze nutzt auch die festen Bodenpartikelchen aus, nutzt sie vor allem rein lokal, ganz verschieden nach der Mächtigkeit ihrer Wurzelentwicklung aus. Und diese Wurzelentwicklung ihrerseits ist verschieden nach der Art der Pflanzen, der Struktur des Bodens, nicht zum wenigsten auch nach der im Boden bestehenden Konkurrenz.

Denn niemals haben wir es ja mit einem Einzelindividuum oder einem reinen Bestande zu tun, wenn wir eine Nutzpflanze auf einem Felde anbauen. Die Mitbewerber aus dem Reiche der höheren Pflanzen können wir ausschließen. Nicht ausschließen können und vielleicht auch dürfen wir dagegen die Mitbewerber aus dem Reiche der Mikroorganismen, die zahllosen Bakterien, Hefen, Pilze usw., die in ungezählten Millionen, ja Milliarden den Boden all und überall bevölkern. Sie alle wollen leben, sie alle brauchen Wärme, brauchen Luft, brauchen Wasser, brauchen schließlich auch Mineralstoffe und Stickstoff, die sie in ihrem Leibe festlegen und damit der höheren Pflanze entziehen. Andererseits wirken sie alle auf die Pflanze selbst, nur quantitativ und qualitativ sehr verschieden. Sie wirken auf die festen Bestandteile des Bodens ein, bringen Stoffe in Lösung, kurz greifen in den Chemismus des Bodens ein in einem Grade, der sich noch lange, wenn nicht immer, unserem Verständnis entziehen wird.

Solange wir diese Fehlerquellen nicht abzuschätzen vermögen — und wenn man die ungemein große Anzahl der mitwirkenden Faktoren bedenkt, die sie zusammensetzen, dann wird man in dieser Hinsicht in seinen Hoffnungen recht kleinlaut —, so lange werden wir wirklich sichere Daten zur Beurteilung der Düngebedürfnisse eines Bodens von der chemischen Analyse kaum erwarten dürfen, wenn sie auch vielleicht einmal einen ungefähren Anhalt in günstigen Fällen zu bieten vermag, wie es z. B. die Gesamtanalyse heute beim Moorboden bereits tut. Die Formel, der das Leben folgt

Digitized by Google

— und um nicht mehr und nicht weniger handelt es sich auch hier — ist eben noch immer nicht gefunden.

In Erkenntnis der Schwierigkeiten hat man zur Beurteilung der Düngebedürftigkeit der Böden die Analyse zu umgehen versucht. Man hat berechnet, was man alljährlich durch Wegnahme der Ernten einem Boden entnimmt, was man ihm in natürlichen Düngestoffen, Wurzelrückständen usw. beläßt und hat geglaubt, auf diese Weise einen Anhalt für die Düngung zu erhalten, wenn man dabei noch die Ernährungsansprüche der anzubauenden Pflanzen berücksichtigte.

So wertvoll diese statische Methode[1]) für die Beurteilung des Nährstoffumlaufs eines ganzen landwirtschaftlichen Betriebes in groben Zügen ist, so aussichtslos ist es, sich ihrer im einzelnen zur Beurteilung der Nährstoffverhältnisse eines Bodens bedienen zu wollen.

Eine große Fehlerquelle liegt schon darin, daß man gezwungen ist, mit Durchschnittsanalysen zu arbeiten. Daß Durchschnittsanalysen von Feldprodukten keinesfalls für den Einzelfall genau zutreffen, ist oben bereits hinreichend betont.

Dann entzieht es sich vollständig unserer Kenntnis, was im Laufe des Jahres an Nährstoffen aus dem Boden durch Auswaschung usw. verloren geht, was andererseits durch Organismentätigkeit — und es kommen dabei nicht nur pflanzliche, sondern durch Lüftung und Lockerung des Bodens auch tierische Organismen in Frage — mehr verfügbar wird. Kurz: es sprechen alle für die Analyse geltenden Schwierigkeiten auch bei der statischen Methode mit. Mit dieser Feststellung ist ihre geringe Zuverlässigkeit genügend gekennzeichnet.

Der einzig gangbare Weg, welcher heute dem Landwirt offen steht, um sich über das Düngebedürfnis seiner Böden zu unterrichten, bleibt der des Versuchs.

Indem er kleinen Parzellen, die allerdings zur Vermeidung von Fehlern nicht gar zu klein sein sollten, die verschiedenen Nährstoffe in wechselnder Zusammensetzung und Menge

[1]) Statik im landwirtschaftlichen Sinne ist die Lehre von Erschöpfung und Ersatz der Bodennährstoffe im Einzelbetriebe.

Digitized by Google

zuführt, kann er feststellen, welche Kombination auf jedem Boden zu jeder Frucht nicht nur den höchsten Roh-, sondern, worauf es weit mehr ankommt, den höchsten Reinertrag erzielt. Dann hat er alle Daten für rationelle Düngung in der Hand.

Um ein Beispiel eines solchen Versuchs zu geben, diene folgendes Schema. Es erhält in bestimmten, je nach dem Boden wechselnden Mengen, die empirisch zu bestimmen sind:

Parzelle I. Keine Düngung.
„ II. Kalk, Kali, Phosphorsäure, Stickstoff.
„ III. — „ „ „
„ IV. Kalk, — „ „
„ V. „ Kali, — „
„ VI. „ „ Phosphorsäure, —

Das Grundprinzip muß sein, stets einen Nährstoff bei der Düngung ins Minimum zu setzen, indem man ihn nicht gibt. Stellt sich dann heraus, daß eine Parzelle einen ganz besonderen Minderertrag aufzuweisen hat, so hat man, besonders wenn sich dasselbe Resultat auf einer Kontrollparzelle mit derselben Düngung auch einstellt, die Gewißheit, daß dieser Nährstoff dem Boden in erster Linie fehlt und kann dann durch geeignete weitere Versuche auch den Grad dieses Fehlens mit hinreichender Genauigkeit und ohne viel Arbeit feststellen. Mindestens steht die Arbeit der Versuchsanstellung in keinem Verhältnis zu dem zu erzielenden Gewinn durch Ersparung unnötiger Düngekosten nicht sowohl, als vor allem durch die Möglichkeit vollster Ausnutzung aller Fähigkeiten des Bodens und der gebotenen Düngung, die im Maximum des Reinertrages zum Ausdruck kommt.

Daß ein solcher genauer Anhalt sich nicht in einem Jahre erzielen läßt, sondern erst in einer Reihe von Jahren, wenn eben jede Frucht auf jedem Boden versuchsweise gedüngt ist, versteht sich von selbst. Erst dann wird man von einer derartigen Versuchsanstellung den vollen Nutzen haben. Wertvolle Fingerzeige aber vermag sie vom ersten Augenblicke an dem denkenden Landwirt zu liefern und ihn vor vielen unnötigen Ausgaben und Maßregeln zu bewahren, andererseits aber auch auf falsche Sparsamkeit aufmerksam zu machen.

Digitized by Google

2. Natürliche Düngemittel.

Die Maßregel der Düngung in der Landwirtschaft im weitesten Sinne des Wortes, die auch Gärtnerei und Weinbau einschließt, ist uralt. Die landwirtschaftlichen Schriftsteller des Altertums empfehlen bereits, Auswurfstoffe der Menschen und Tiere zur Düngung der Felder zu benutzen. Strenge Gesetze sogar regelten in der neuen Welt, in den alten Kulturstaaten des heutigen Peru, die Verwendung des Guanos zu Düngezwecken, um einer Vergeudung dieser in ihrem Werte wohl erkannten Vogelexkremente vorzubeugen.

Menschliche Auswurfstoffe, Wirtschaftsabfälle aller Art, vor allem aber der aus der Einstreu der landwirtschaftlichen Nutztiere und ihren Ausscheidungen sich zusammensetzende Stallmist bildeten bis zum Auftreten Liebigs mit seiner Mineraltheorie, die mit einem Schlage die Lehre von der Düngung auf eine neue Basis stellte, die einzigen angewandten Düngemittel, die dann mit Auftauchen anderer, mineralischer Düngestoffe diesen Erzeugnissen der Industrie, „künstlichen Produkten", als „natürliche" Düngemittel gegenübergestellt wurden. So meint man auch heute noch mit dem Ausdrucke „natürliche Düngemittel" alle diejenigen, die im eigenen Betriebe aus Stoffen eigener Produktion erzeugt werden; also in erster Linie den Stallmist, dann Kompost usw.

Der Stallmist setzt sich, wie schon gesagt, zusammen aus der Einstreu und den Exkrementen der Tiere. Es ergibt sich aus dieser Zusammensetzung, daß sein Gehalt an Mineralstoffen in den weitesten Grenzen schwanken muß, je nach den zur Einstreu verwandten Materialien und der Tiergattung, der diese Einstreu als Lager dient.

Als Einstreu dient in der Regel das Stroh der Getreidearten, in selteneren Fällen Moostorf oder in Zeiten der Not oder in besonderen Gegenden Laubstreu, Heideplaggen usw. Hinsichtlich ihres Mineralgehalts sei auf die oben gegebenen Zahlen verwiesen.

Die Tiere scheiden natürlich je nach Art, vor allem aber nach Alter und Leistung, nicht nur quantitativ, sondern auch

Digitized by Google

qualitativ sehr verschiedene Exkremente aus. Masttiere, die nur mineralarmes, wenn nicht gar völlig mineralfreies, Fett ansetzen, verbrauchen aus ihrer Nahrung wesentlich weniger Mineralstoffe, scheiden also wesentlich mehr im Kote und Harn an Mineralstoffen aus, als wachsende Tiere, die Muskeln und Knochen erst bilden sollen, als milchgebende Tiere, die eine große Menge von Mineralstoffen zur Erzeugung der Milch verbrauchen. Daß die Zusammensetzung des Futters dabei sehr wesentlich ist, versteht sich von selbst.

Die schon dadurch bedingten Differenzen in der elementaren Zusammensetzung des produzierten Düngers werden noch wesentlich modifiziert durch die Behandlung, die der Landwirt diesem Dünger angedeihen läßt. Je weniger Gelegenheit zur Auswaschung durch Regen usw. ist, desto reicher bleibt er natürlich. Je mehr er auf dem Hofe in schlecht gebauten Düngerställen dem Einfluß des Wassers ausgesetzt ist, desto ärmer wird der Dünger an Mineralstoffen, die durch Verrottung infolge Bakterientätigkeit beweglich gemacht, oft in sehr hohem Grade ausgelaugt werden, so daß ein fast wertloses Produkt hinterbleibt. Es möge das hier genügen, da uns die Frage der Düngerbehandlung bei Besprechung des Stickstoffs noch einmal eingehend beschäftigen wird.

So ist es denn als ein müßiges Unterfangen zu betrachten, irgendwelche Durchschnittswerte für Stalldünger zu berechnen, da diese nur für den Einzelfall Geltung haben und Geltung haben können. Um eine Vorstellung von der Zusammensetzung des Stalldüngers zu geben, seien trotzdem die von Stutzer als am wenigsten unzutreffend betrachteten Werte hier mitgeteilt.

„Ein Fuder Stallmist hat ein Gewicht von durchschnittlich 1000 kg (= 10 dz) und besteht in verrottetem Zustande nach ordnungsmäßiger Behandlung desselben aus ungefähr 750 kg Feuchtigkeit, 200 kg humusbildenden und stickstoffhaltigen Stoffen, 50 kg Mineralbestandteilen und Salzen.

Die stickstoffhaltigen und mineralischen Bestandteile enthalten an wichtigen Düngestoffen ungefähr 1,1 kg Stickstoff in schnellwirkender Form (Ammoniak, Amide und Salpeter),

Digitized by Google

4,3 kg Stickstoff in schwerlöslichem Zustande, ferner ungefähr 3,5 kg Phosphorsäure und 6,5 kg Kali, jedoch sind diese Zahlen schwankend, keineswegs als allgemein maßgebend zu betrachten."

Ganz in den Hintergrund tritt der Kalkgehalt des Stallmists.

Die Form der Phosphorsäure im Stallmist ist eine derartige, daß 100 Teile etwa 80 Teilen wasserlöslicher Phosphorsäure entsprechen. Sie ist mithin für die Pflanze fast vollständig verwertbar. Ein gleiches gilt in vollem Umfange auch von dem Kali des Stallmists. Bedingung ist natürlich, daß der Stallmist schon verrottet ist, d. h. daß die ursprünglich in Exkrementen und Einstreu vorhandenen organischen Verbindungen der betreffenden Elemente schon zerfallen, diese wieder „mineralisiert" sind. Dies geschieht zum kleinsten Teil im Stall oder auf dem Düngerhaufen, hauptsächlich im Boden, wohin der Stallmist durch Ausbreiten und Unterpflügen gelangt, durch den Einfluß von Bakterien und sonstigen niederen Organismen, die demnach für die Ernährung der höheren Gewächse durch Aufschließung der gegebenen natürlichen Düngemittel eine hervorragende Rolle spielen.

Bemerkenswert ist, daß der Stallmist und mit ihm alle auf tierischen und pflanzlichen Körpern als wertgebenden Stoffen basierenden natürlichen Düngemittel, sämtliche notwendigen Pflanzennährstoffe, wenn auch nicht in den für die Pflanzenproduktion im Einzelfalle nötigen Verhältnissen, aufzuweisen haben. Diese Möglichkeit, in dem Stallmist den Pflanzen jederzeit eine vollständige Ernährung zu bieten, hat es zuwege gebracht, daß jahrhundertelang der Stallmist das einzige Düngemittel gebildet hat, das der Landwirtschaft zu Gebote stand und ihre Ansprüche an Steigerung der Produktion auch genügend erfüllte.

Die Tatsache andererseits, daß im Stallmist die Nährstoffe nicht immer in dem gegenseitigen Mengenverhältnis vorkommen, wie sie die Pflanzen zur Erzielung von Höchsternten brauchte, so daß intensive Stallmistdüngung gleichzeitig Verschwendung mit einem Nährstoff und falsche Sparsamkeit mit einem anderen bedeuten kann und ein Ausgleich dieser beiden

Digitized by Google

Extreme bei alleiniger Verwendung von Stallmist unmöglich ist, erklärt es, daß neben dem altbewährten natürlichen Düngemittel die große Reihe der künstlichen Düngemittel so schnell eine so große Bedeutung gewonnen haben. Gestatteten doch diese „künstlichen" Stoffe, die in der Regel nicht alle, sondern nur immer einen einzigen Pflanzennährstoff, aber diesen dafür in hoher Konzentration und Wirksamkeit enthalten, den Stallmist aufs vorteilhafteste zu ergänzen in denjenigen Mineralstoffen, die jeweils ins Minimum zu geraten drohen. Dadurch wird natürlich auch die Ausnutzung der anderen Nährstoffe des Stallmists gesichert und der Gesamterfolg der Düngung wesentlich erhöht.

Die Unkenntnis, oder besser Vernachlässigung der Tatsache, daß die Düngestoffe des Handels nur einen Nährstoff enthalten, hat vielen Landwirten, die künstliche Düngung als Ersatz des Stallmists anwandten, große Verluste bereitet. Es ist selbstverständlich möglich, die rein nährende Wirkung des Stallmists auch durch künstliche Düngemittel zu erzielen. Aber es müssen dann, seiner Zusammensetzung entsprechend, sowohl stickstoffhaltige, als kali- und phosphorsäurehaltige Handelsdüngemittel verwandt werden, und nicht, wie es leider vielfach üblich ist, nur einer dieser Nährstoffe allein in Anwendung kommen. Dieser kann nur dann seine ganze Wirkung entfalten, wenn er zufällig sich im Minimum befindet und alle anderen Stoffe reichlich vorhanden sind. Daß ein solches glückliches Zusammentreffen ein Lotteriespiel ist und selten sich ereignet, in vielen Fällen dagegen eine Wirkung recht schwach oder gar nicht eintritt, darf wohl kaum besonders betont werden. Wenn die auf diese Weise entstehenden Verluste nicht noch größer sind, so liegt das daran, daß normal bewirtschaftete Böden immerhin einen gewissen Fonds an Nährstoffen, an „alter Kraft" haben, dessen Gleichgewicht eine solche einseitige Düngung zwar empfindlich stört, den sie aber doch nicht gänzlich zu erschöpfen vermag.

Wie betont, vermögen die künstlichen Düngemittel, was die Mineralstoffe als Nährstoffe anbetrifft, in richtiger Kombination vollkommen den Stallmist zu ersetzen. Nun und

Digitized by Google

nimmer aber können die künstlichen Düngemittel die günstige physikalische Wirkung entfalten, die dem Stallmist, namentlich auf schweren, geschlossenen Böden durch Lockerung des Gefüges zukommt. Noch viel weniger vermögen sie dem Boden zur Auffrischung seiner für das Gedeihen der Nutzpflanzen so nützlichen Bakterienflora neue Mikroorganismen in ungezählten Scharen zuzuführen, wie es der Stallmist tut, der seiner ganzen Bildung nach einen Nährboden für Mikroorganismen abgibt, wie man ihn sich nicht besser vorstellen kann. Mag man über den Einfluß der Organismen auf die Mineralstoffe des Bodens auch noch wenig wissen, daß ein solcher Einfluß besteht, ist nicht zu leugnen.

Stets wird der Stallmist die Grundlage auch der intensivsten Wirtschaft bilden müssen und stets wird den künstlichen Düngemitteln nur die Rolle von Helfern zufallen, freilich sehr wichtigen Helfern, die erst eine völlige Ausnutzung der Grunddüngung ermöglichen durch Aufhaltung des drohenden Minimums der einzelnen Pflanzennährstoffe, das um so eher eintreten wird, je ärmer der Stallmist an den betreffenden Elementen ist.

3. Die „künstlichen" Dünger.

a) Kalkhaltige Düngemittel.

Es ist kein Zufall, daß schon seit langer Zeit, lange vor der Entwicklung der modernen Pflanzenernährungslehre, ja schon im römischen Altertum, kalkhaltige Stoffe als Ergänzung der Düngung mit Stalldünger oder Exkrementen verwendet wurden, wenn auch ein Zufall vielleicht zur Entdeckung ihrer günstigen Wirkung geführt hat. Denn gerade an Kalk enthalten die natürlichen Düngemittel nur verschwindende Mengen, und da auch die Böden keineswegs besonders reich an diesem Stoffe sind, von Ausnahmen abgesehen, so ist es verständlich, daß das Calcium bei alleiniger Wirtschaft mit natürlichem Dünger zuerst ins Minimum geraten mußte.

Die Landwirte älterer Zeit sahen freilich, wie viele ihrer Nachkommen es auch heute trotz aller Aufklärung noch tun,

Digitized by Google

in dem Kalk keinen direkten Nährstoff der Pflanzen. Sie sahen vielmehr in dem Kalk ein Mittel, den Boden zu höheren Leistungen anzuregen, seine „gute Verdaulichkeit" für die Pflanzen zu fördern, erstrebten also eine mehr indirekte Wirkung, die in der Tat auch heute das vollste Interesse des Ackerbauers verdient, da ihr gegenüber die rein nährende Wirkung des Kalks in den Hintergrund tritt.

Daß das Calcium im Boden in den verschiedensten Mengen und Bindungen vorkommt, ist oben bereits betont. Von Wirksamkeit auf die Zersetzungsvorgänge im Boden und damit indirekt auf das Pflanzenleben, selbst in noch höherem Grade, als es seine Eigenschaft als Nährstoff erklärlich erscheinen ließe, ist das Calcium fast ausschließlich in Form des kohlensauren Kalkes. Die Rolle des Kalkes ist in dieser Form eine doppelte, verschieden gegenüber organischen und anorganischen Bodenbestandteilen.

Soweit er nicht ohnehin im Boden vorhanden ist, entsteht kohlensaurer Kalk dadurch, daß nach der Regel der Massenwirkung die Kohlensäure, welche sich aus der Zersetzung der organischen Substanzen ständig neu bildet, selbst die Kieselsäure aus ihrer Bindung mit dem Kalk verdrängt, und ebenso alle anderen Säuren. Der sich bildende kohlensaure Kalk selbst wirkt auf die Fortdauer dieses Prozesses, dem er seine Entstehung verdankt, ein. Da stärkere organische Säuren ihrerseits die Kohlensäure, wenn sie sich nicht weit im Übermaß vorfindet, leicht verdrängen, sättigt das Calciumkarbonat die bei der Humifizierung der organischen Verbindungen des Bodens sich bildenden Säuren ab und schafft dadurch sehr günstige Lebensbedingungen für die Bakterienflora des Bodens. Die Folge ist eine stärkere Entwicklung dieser Mikroorganismen, eine schnellere Zersetzung der zugeführten organischen Substanzen bis zum Schlußprodukt: Kohlensäure, womit der Kreislauf geschlossen ist. Bei Mangel an Kalk lösen überhaupt bald die verschiedensten Fadenpilze die nützliche Bakterienflora ab. „Saurer Humus" entsteht an Stelle des bei Kalkgehalt des Bodens sich bildenden „milden" Humus.

Digitized by Google

Dieser milde Humus ist nun nicht nur wegen seiner „Milde", d. h. Säurelosigkeit, von höchster Bedeutung für die darin gedeihenden Pflanzen und bietet ihnen nicht nur deswegen einen guten Standort, sondern auch wegen der großen Menge mineralischer Stoffe, die natürlich bei dem raschen Zerfall der organischen Verbindungen in Freiheit gesetzt und somit für die Pflanzenwelt wieder erschlossen werden, ganz abgesehen von der Förderung des Stickstoffumsatzes im Boden, der in ein anderes Kapitel gehört.

Mehr aktiv beteiligt sich der Kalk an der Aufschließung der anorganischen Bodenbestandteile.

Auch hier ist der Grundzug der Reaktion die gegenseitige Verdrängung der Säuren. Während bei reicher Anwesenheit von Kohlensäure, dem Massengesetz folgend, diese die stärkere Säure aus ihren Bindungen verdrängte (um mit der Base Calciumoxyd [CaO] zusammen den kohlensauren Kalk zu bilden nach der Gleichung

$$CaO + CO_2 = CaCo_3 \quad [\text{s. o.}]),$$

so vermag, wo durch reiche Bodenlüftung, also intensive Bearbeitung, oder nach Verarbeitung der organischen Stoffe durch die Bakterien das Übergewicht der Kohlensäure aufgehoben ist, diese den ehemals verdrängten mineralischen Säuren nicht mehr standzuhalten. Sie wird ihrerseits aus ihrer Bindung mit dem Calcium gelöst. Das Calcium verbindet sich mit den verschiedenen in die Reaktion eingreifenden Säuren, indem es gleichzeitig nach den Gesetzen der chemischen Affinität andere Elemente, speziell Kalium, Natrium usw., in Freiheit setzt, die ihrerseits sich mit der Kohlensäure zu löslichen Salzen verbinden.

Welcher Art diese Umsetzungsprozesse im einzelnen sind, um welche Mengen es sich in jedem gegebenen Momente im Boden bei den einzelnen Verbindungen handelt, das vermag bei der Zahllosigkeit der Möglichkeiten kein Chemiker auch nur mit dem Scheine der Berechtigung zu entscheiden. Greift doch noch der Umstand komplizierend ein, daß durch die Pflanzenwurzeln viele Reaktionsprodukte zur Aufnahme gelangen, mithin ihrer weiteren Einwirkung eine Grenze gesetzt

Digitized by Google

wird, und sich auch hierdurch das Gleichgewicht ständig verschiebt, ganz abgesehen noch von der im gleichen Sinne tätigen Auswaschung löslicher Substanzen durch die atmosphärischen Niederschläge.

Es wäre wertvoll, den Gleichgewichtszustand genau überblicken zu können, wie er unter allen Umständen nach den Grundgesetzen der Chemie sich in jedem Boden einstellen muß. Die Schwierigkeit ist jedoch zu groß und wird kaum jemals überwunden werden. Man muß zufrieden sein, daß man das Prinzip aller dieser durch Kalk bewirkten Umsetzungen kennt, die sich, noch einmal kurz skizziert, in der Weise abwickeln, daß kohlensaurer Kalk durch Einwirkung sich zersetzender organischer Substanzen aus den Calciumverbindungen des Bodens gebildet, durch Verbesserung der Lebensbedingungen der Mikroorganismenflora seinerseits die Zersetzung der organischen Stoffe fördert und gleichzeitig mit schwerlöslichen Stoffen des Bodens sich umsetzt und andere Elemente in lösliche Form überführen hilft. Es werden also in jedem Falle Nährstoffe für die Pflanzen verfügbar, vom Kalk selbst noch ganz abgesehen, so daß unter günstigen Umständen, d. h. auf Böden, die reich an schwerlöslichen Verbindungen der Aschenelemente (organischer oder mineralischer Natur) sind, eine Kalkdüngung wie eine Düngung mit Phosphorsäure, Kali und Stickstoff, oder auch nur mit einem und dem anderen dieser Stoffe, je nach der Natur des Bodens wirken kann.

Es ist schon betont, daß dies nur auf reichen Böden der Fall sein und natürlich nur so lange geschehen kann, als dieser Reichtum vorhält. Es bedarf keines weiteren Wortes, daß ein so forcierter Raubbau, wie alleinige Kalkung nach obigem es ist, nur eine sehr beschränkte Dauer haben kann und daß hochgradige Erschöpfung des Bodens die Folge sein muß. Daher hat dann das der reinen Erfahrung, d. h. jahrzehntelanger unbewußter Statistik entsprungene Sprichwort durchaus recht, wenn es sagt: Kalk (Mergel) macht reiche Väter, aber arme Söhne.

Digitized by Google

Der Segen der Kalkdüngung auf kalkarmen Böden soll nicht bestritten werden. Im Gegenteil! Es ist nicht dringend genug zu raten, auf den Kalkgehalt der Böden ein verschärftes Augenmerk zu richten, da nur genügender Kalkgehalt gute Ausnutzung der Düngung und gute Bodenverhältnisse im chemischen Sinne garantiert. Aber man muß sich klar werden, daß man bei Anwendung der Kalkdüngung, wenn man nicht auf Kosten der Zukunft leben will, die Pflicht hat, gleichzeitig für Wiederanreicherung des Bodens mit den übrigen Nährstoffen intensiv Sorge zu tragen.

Ein Gesichtspunkt übrigens, der, modifiziert natürlich, für alle anderen Nährstoffe gleichfalls gilt, wenn die Folgen falschen Vorgehens sich hier vielleicht auch nicht so evident und schnell einstellen, wie gerade beim Kalk.

Kalkhaltige Düngemittel stehen dem Landwirt verschiedene zur Verfügung. Unter Kalk schlechthin hat man den gebrannten Kalk zu verstehen, welcher, wohl auch Ätzkalk genannt, in den verschiedensten Reinheitsgraden in den Handel kommt. Da es sich hier um eine stark basische Verbindung handelt [CaO resp. $Ca(OH)_2$ als gelöschter Kalk], sind die Wirkungen dieses Düngemittels ganz besonders intensiv. Es kommt dementsprechend der gebrannte Kalk, den man in kleinen, erdbedeckten Haufen erst auf dem Felde selbst sich löschen läßt, wesentlich für schwere Böden in Frage. Man nimmt an, daß 4000—6000 kg Ätzkalk pro ha für 5—10 Jahre je nach den Böden vorhalten. Im allgemeinen ist Regel, bei schwereren Böden stärker und seltener, bei leichteren schwächer und öfter zu kalken. Beim Einkauf ist darauf zu achten, daß man wirklich Ätzkalk und nicht schon kohlensauren Kalk erhält, in welche Verbindung bei langem Liegen an der Luft der Ätzkalk sehr leicht übergeht.

Kohlensaurer Kalk enthält bei gleichem Gewicht nur ungefähr die Hälfte Calciumoxyd wie Ätzkalk. Diesem Umstande, sowie der weniger intensiven Wirkung entsprechend, ist sein Preis in den verschiedenen Mergelarten, die ebenfalls zu Düngezwecken in den Handel kommen resp. in

Digitized by Google

einzelnen Betrieben aufgefunden werden, ein geringerer. Die verschiedenen kohlensauren Kalke sind für leichtere und leichte Böden zu bevorzugen. Bei der Berechnung der nötigen Mengen ist natürlich auf den eigentlichen Gehalt an Kalk und nicht auf das Gesamtgewicht Rücksicht zu nehmen, da z. B. Mergel sowohl mit einem Kalkgehalt von 10% als von 40% vorkommt und dementsprechend seine Wirkung vermindert oder erhöht ist.

Die Nebenbestandteile der Mergel sind Ton, Lehm, Sand, je nach dem Fundort. Sie kommen demgemäß unter Umständen auf ganz leichten Böden noch zu gleicher Zeit als Meliorationsmittel in Betracht. Trotz dieser Doppelwirkung kann man ganz allgemein sagen, daß ein Mergel einen um so geringeren Transportweg verträgt, daß um so schneller die Rentabilitätsgrenze bei einer Mergeldüngung erreicht ist, je unreiner das Produkt ist. Bei Mergellagern unter Wiesen usw. sind Beimengungen schädlicher Eisenverbindungen usw. nicht selten. Es empfiehlt sich, solchen Mergel erst auf dem Felde einmal ordentlich zerfallen zu lassen, ehe man ihn durch leichtes Pflügen mit dem Acker mischt.

Dieselben Gesichtspunkte gelten für gemahlenen Kalkstein, welcher, wie sein Name sagt, durch Mahlen roher Kalksteine gewonnen wird. Der Prozentgehalt ist gleichfalls ein sehr schwankender, vom fast reinen kohlensauren Kalk bis zu ganz minderwertiger Ware.

Eines der ältesten, wenn nicht gar das älteste künstliche Düngemittel ist der Gips, schwefelsaurer Kalk, gleichfalls gemahlenes rohes Mineral. Er wurde in älteren Zeiten in großem Umfange und auf reichen Böden, wo seine vorwiegend indirekte Wirkung besonders hervortreten konnte, auch mit gutem Erfolge zu Hülsenfrüchten angewandt, und noch heute hört man häufig das „Gipsen" des Klees warm empfehlen. Seine Bedeutung als Düngemittel dürfte aber, da wir heute ja bewußt direkte Düngewirkungen billiger erzielen können, mehr und mehr zurückgehen.

Auf sonstige kalkhaltige Stoffe: Scheideschlamm der Zuckerfabriken usw. einzugehen, denen nur lokale Bedeutung

Digitized by Google

zukommt, verbietet der Raum. Es ist auch unmöglich, im Rahmen dieser Darstellung eine genaue Anweisung zur Anwendung der einzelnen die Pflanzennährstoffe enthaltenden Düngemittel auf den verschiedenen Böden zu den verschiedenen Pflanzen zu geben. Nur Leitlinien können hierfür aufgestellt werden, und ist Näheres aus den im Literaturnachweis verzeichneten großen Fachwerken zu ersehen.

Zu welcher Pflanze die Anwendung des Kalkes geschieht, ist im Grund genommen gleichgültig, vorausgesetzt natürlich, daß man nicht gerade solchen Pflanzen eine starke Kalkdüngung zuteil werden läßt, die als direkt empfindlich gegen frische Kalkung bekannt sind. Dazu gehören die Lupinen, besonders die gelben Lupinen, und auf manchen Böden auch Serradella. In gewissem Sinne gehört hierher auch die Kartoffel, welche besonders im zweiten oder dritten Jahre nach Kalkung leicht schorfig wird. Dagegen sind nur günstige Wirkungen der Kalkung zu erwarten, wenn man sie zu den nach obigen Ausführungen ein starkes Bedürfnis nach Kalk besitzenden Kleearten, sowie zu Hackfrüchten, wie Rüben, gibt.

Die beste Zeit der Kalkung ist der Herbst und Winter, auch wegen der Arbeitsverteilung der Sommer, wenn man Brachfeldern eine Kalkung geben will. Der Ätzkalk kann in direkter Berührung mit jungen Keimpflanzen diese beschädigen. Bei Verwendung kohlensauren Kalkes hat man auch bei späterer Anwendung, z. B. kurz vor der Saat, ja auf Wiesen und Weiden auch als Kopfdüngung, nachteilige Folgen selbst starker Kalkgaben nicht zu fürchten.

b) Kalihaltige Düngemittel.

Am spätesten von allen Pflanzennährstoffen hat man dem Kalium die ihm gebührende Aufmerksamkeit geschenkt. Die Tatsache, daß schwerere Böden, d. h. gerade die besseren, in erster Linie der landwirtschaftlichen Nutzung unterworfenen Böden, über einen gewissen Vorrat an Kali verfügen, der allmählich den Pflanzen zur Verfügung gestellt wird, wenn freilich die löslich werdenden Mengen nicht zur Erzielung von Höchsterträgen ausreichen, der Umstand, daß das Kali

Digitized by Google

mit Berücksichtigung der Ausnutzbarkeit der Bodenvorräte statisch bei oberflächlicher Betrachtung in günstigerem Lichte als die übrigen Nährstoffe erscheint, haben selbst bei intensiv wirtschaftenden Landwirten zu einer laxen Behandlung der Kalidüngung geführt. Nicht zum wenigsten dazu beigetragen hat auch der Umstand, daß selbst wenn Kalium im Boden sich entschieden im Minimum befindet, die Erfolge der Kalidüngung keineswegs ohne weiteres ins Auge springen. Üppigere Färbung der Blattorgane ist oft alles, was den besseren Ernährungszustand in dieser Richtung verrät. Erst bei der Ernte tritt der wahre Erfolg der Kalidüngung gewichtsmäßig und vor allem auch in der Qualität der Produkte hervor. Das aber ist eine Feststellung, der sich namentlich der kleinere Landwirt nur äußerst ungern unterzieht, ganz besonders, da ihm bei meist nicht ausreichendem Stande seines theoretischen Wissens der Grund für solches Verfahren oft keineswegs einleuchtet. So kommt es, daß heute, von ganz extrem reichen Niederungsböden und Flußüberschwemmungen ausgesetzten Geländen abgesehen, in den alten Kulturländern bei dem hohen Verbrauch aller Nutzgewächse an Kali fast alle Böden ein großes Kalibedürfnis zeigen, indem sie durch hohe Ernten auf sachgemäße, durch Beidüngung mit den übrigen Pflanzennährstoffen unterstützte Kalidüngung reagieren.

Ganz besonders ist das natürlich bei Moor- und Sandboden der Fall, welche ganz extrem wenig Kali besitzen.

Es enthält z. B. in 100 Teilen Trockensubsanz:

	Tertiärer Sand	Niederungsmoor	Hochmoor	Lehm
In Salzsäure lösl. Kali	0,004%	0,0850%	0,0590%	0,340%
In Salzsäure unlösl. Kali	0,195%	?	?	0,800%
Gesamtkali	0,200%	0,0850%	0,060%	1,140%

Man kann mit Recht behaupten, daß erst die Erschließung der großen Staßfurter Lagerstätten von Kalisalzen die Kultur der großen Sand- und Moorflächen unserer Heimat überhaupt ermöglicht hat, die ohne eine intensive Bereicherung des Bodens an diesen wichtigen Nährstoffen nicht denkbar war.

Digitized by Google

Es gilt dies auch für viele oft sehr kaliarme Böden der wärmeren Klimate, jedoch hier keineswegs ohne Ausnahme. Wohl sind auch zu allen tropischen Gewächsen mit Erfolg Gaben von Kalisalzen angewandt worden, aber es scheint in manchen Gegenden der Tropen die Bodenzersetzung unter dem Einfluß der allerdings ja auch weit wirksameren Atmosphärilien, wie der erhöhten Wärme und Feuchtigkeit, die gleichzeitig ein erhöhtes Mikroorganismenleben begünstigen, eine so gesteigerte zu sein, daß an eine Düngung, wenigstens einstweilen, nicht gedacht zu werden braucht, ein Gesichtspunkt, der auch für die Phosphorsäure in ähnlichem Grade zutrifft.

Übrigens ist „keine Kalidüngung" ein nicht ganz genauer und darum nicht richtiger Ausdruck. Es dient in wärmeren Klimaten vielfach derjenige Stoff zur Kalidüngung, wenn auch in nicht ausgesprochener Absicht, diesen Nährstoff zuzuführen, der auch in den alten Kulturländern das erste Kalidüngemittel gewesen ist: die Asche der wildlebenden Pflanzen oder aber der Reste der Kulturgewächse, die ja durchweg einen sehr hohen Gehalt an Kali aufzuweisen haben. Die auf diese Weise alljährlich dem Boden wiedergegebene Kalimenge ist keineswegs zu unterschätzen, da mit ihr die erhöhte Aufschließung des Bodens, oft auch, wie bei Zuckerrohrbau und ähnlichen Kulturen, die Berieselung mit kalireichem Wasser Hand in Hand geht.

Was aber für die Tropen und Subtropen zutrifft, gilt für die gemäßigten Klimate nicht. Hier reichten die ohnehin geringen zur Verfügung stehenden Mengen von Pflanzen- besonders Holzasche nicht aus, bei der geringen Bodentätigkeit auf die Dauer das Kalibedürfnis der Landwirtschaft zu decken. Seit der Erschließung der Staßfurter Lagerstätten ist alljährlich, wenn auch nicht in dem eigentlich wegen der langen Ausbeutung des Bodens an Kali erwünschten Maße, so doch in erfreulicher Weise, die Anwendung der Kalidünger vornehmlich in der Landwirtschaft Deutschlands gestiegen.

Daß gerade Deutschland in dieser Beziehung an der Spitze steht, hat seinen guten Grund darin, daß bisher auf der Erde Deutschland die gewaltigsten Kalilager in seinem ganzen

Digitized by Google

Westen: im Magdeburger Becken, Hannover, Braunschweig, Thüringen bis nach Westfalen, Elsaß auf der einen und Mecklenburg, Brandenburg auf der anderen Seite aufzuweisen hat. Ja es scheint fast, als ob dieser Nationalschatz Deutschlands gänzlich ohne Konkurrenz auf der Erde dasteht. Denn die angeblichen Kalifunde bei Kalusz in Galizien, in Persien, sowie in der Salzkette im Norden des Pendschab bedürfen noch sehr der Bestätigung, kommen auf jeden Fall gegen die mächtigen deutschen Lager gar nicht in Betracht, selbst von ihrer ungünstigen Lage in verkehrsarmen und dem Verkehr große Schwierigkeiten bietenden Gegenden ganz abgesehen.

„Man denkt sich die Bildung jenes großartigen Salzlagers in der Weise vor sich gegangen, daß ein vom Weltmeer durch irgend eine geologische Veränderung abgeschnittenes Salzbecken — die Übereinstimmung der Zusammensetzung der Salze mit denen des Seewassers ist ja auch auffallend genug — der langsamen Verdunstung, ähnlich wie jetzt etwa das Tote Meer oder (wegen der großen Mächtigkeit) noch besser die Bucht Kara Bogas des Kaspischen Meeres, welche durch einen unterseeischen Wall vom Hauptteil des Meeres abgetrennt ist, unterlegen sei und daß sich dabei die einzelnen Salze in der Reihenfolge ihrer Schwerlöslichkeit abgelagert hätten. Bedingung zur Abscheidung ist dabei nur, daß ein salzhaltiges Wasser stärker verdunstet, als z. B. das erstgenannte Meer (aus dem entwaldeten Palästina) Zufluß erhält, oder daß wie in dem in zweiter Linie genannten Falle bei mäßiger Verdampfung stets neues Salzwasser zuströmt. So haben sich notwendig erst Gips, dann das wenigstens in der ursprünglichen Mutterlauge schwerlöslichere Kochsalz, abwechselnd mit Anhydritschnüren, tiefer unten ablagern müssen, als die löslichen Doppelsalze von Kali und Magnesia, die wir in den oberen Abraumschichten mehr vertreten finden. Sodann haben sekundäre Prozesse, Eindringen von Süßwasser in die Ablagerungen, Auflösen und Wiederabschieben aus denselben, bei der Gestaltung ihre Rolle gespielt. Auf diese Weise sei dann auch das jüngere Steinsalz entstanden." (Mayer, l. c.)

Digitized by Google

Die Lagerung der Schichten in Staßfurt, dem Herzen der Kaliindustrie, ist die folgende, von oben beginnend:

1. Alluvium.
2. Diluvium.
3. Bunter Sandstein.
4. Gips.
5. Anhydrit.
6. Jüngeres Steinsalz.
7. Salzton
8. Carnallitregion, Kieseritregion, Polyhalitregion } „Abraum"-Kalisalze.
9. Älteres Steinsalz.
10. Anhydrit.

Die ersten Bohrungen und Schachtabteufungen in der Gegend von Staßfurt galten nicht den Kalisalzen, sondern dem Kochsalz. Es war sogar eine Enttäuschung, als man dabei auf die kali- und magnesiaführenden Salzschichten traf, die dann auch als „Abraumsalze", d. h. wertloses Material zur Seite geschafft wurden, bis man nach Liebigs bahnbrechendem Auftreten endlich ihren Wert erkannte. Die Folge war, daß heute gegenüber der Förderung der „Abraumsalze" die des Steinsalzes durchaus in den Hintergrund getreten ist.

Berechnet auf reines Kali, fanden in der Landwirtschaft zu Düngezwecken Verwendung in den verschiedenen Roh- und konzentrierten Salzen:

In Preußen.

1890.	218 007 kg.	94 kg Kali auf	1 qkm.
1895.	535 934 „	232 „ „ „	1 „
1900.	957 998 „	415 „ „ „	1 „
1905.	1 600 131 „	695 „ „ „	1 „

In Deutschland.

1890.	269 230 kg.	77,0 kg Kali auf	1 qkm.
1895.	601 823 „	170,6 „ „ „	1 „
1900.	1 177 121 „	334,4 „ „ „	1 „
1905.	2 021 094 „	576,5 „ „ „	1 „

In ähnlicher Weise ist die Steigerung des Absatzes im Auslande in den letzten Jahren vor sich gegangen.

Die für die landwirtschaftliche Praxis in Betracht kommenden Kalisalze lassen sich allgemein in zwei Gruppen teilen: Die Rohsalze werden aus den bergbaulich gewonnenen

Digitized by Google

Mineralien durch einfaches Mahlen hergestellt. Sie enthalten neben dem eigentlichen Pflanzennährstoff, Kali, noch andere Bestandteile, besonders Natron, Magnesia und Chlor. Diese Nebenbestandteile, welche zwar für bestimmte Verhältnisse höchst wünschenswert und vorteilhaft sind, setzten doch, auch wegen zu hoher Belastung mit Fracht, der Anwendbarkeit dieser Salze eine Grenze, so daß in den letzten Jahrzehnten auch gereinigte konzentrierte Salze, d. h. künstlich hergestellte Produkte, zu Düngungszwecken in den Handel gelangen.

Das wichtigste Rohsalz ist der Kainit mit garantiert 12,4% Kali, als schwefelsaures Kali (21,3%) und Chlorkalium (2,0%) neben rund 15% schwefelsaurer Magnesia, 12,0% Chlormagnesium, 35% Chlornatrium und anderen Bestandteilen in zurücktretenden Mengen.

An zweiter Stelle steht der Carnallit mit 9—12% reinem Kali, das wesentlich als Kaliumchlorid in dem Mineral enthalten ist, im Gemisch mit schwefelsaurer Magnesia, Chlormagnesium und Chlornatrium. Ganz besonders reich an Chlorverbindungen, ein Gemenge von Chlorkalium und Chlornatrium, ist der Sylvinit. Unterschieden von ihm durch einen Mehrgehalt an schwefelsaurer Magnesia ist das Hartsalz. Ein Gemenge von Carnallit mit Kieserit, d. h. schwefelsaurer Magnesia, ist der Bergkieserit. Den letzten drei Salzen kommt nur lokal beschränkte Bedeutung zu.

Gemeinsam haben alle Rohsalze den hohen Chlorgehalt und den Reichtum an Magnesiumverbindungen.

Diese Magnesiumverbindungen sind sämtlich stark hygroskopisch, d. h. sie haben die Eigenschaft, das Wasser der Luft sehr stark an sich zu ziehen. In größerer Menge bei der Düngung mit Rohsalzen in den Boden gebracht, erhalten sie diesen naturgemäß feucht. So vorteilhaft dies für sandige, zur Trockenheit neigende Böden ist, so wenig erwünscht ist es auf schweren, ohnehin meist nasseren Böden, woraus sich als Verwendungsgebiet der Rohsalze der leichte, speziell der Sandboden, ergibt.

Lösliche Chloride, und um solche handelt es sich nach obigem in den Rohsalzen durchweg, haben wir als starke

Digitized by Google

Pflanzengifte kennen gelernt. Damit sie diese ihre giftigen Eigenschaften nicht entfalten können, ist es unbedingt erforderlich, die Rohsalze stets möglichst lange vor der Aussaat der Pflanzen, oder aber zu einer Zeit anzuwenden, wenn die Pflanzen bereits erstarkt und damit weniger empfindlich sind, d. h. als Kopfdüngung. Auf diese Weise hat das Chlor Zeit, im Boden zu versickern, und man umgeht ihre schädlichen Wirkungen, während das Kali, welches im Boden festgehalten wird, zur Ausnutzung gelangt. Besonderes Augenmerk erfordern die Kartoffeln, zu welchen eine Düngung mit Kalirohsalzen spätestens bis Mitte des Winters bereits vorgenommen sein muß, da sonst Schädigungen, besonders Depressionen des Stärkegehalts, ganz unvermeidlich sind.

Andererseits lassen sich die Giftwirkungen der Chloride zur Vertilgung von Moos usw. auf Wiesen mit Erfolg ausnutzen. Eine Düngung mit Kalirohsalzen vertilgt die lästigen Moose und Flechten sofort gründlich, ohne die großes Kalibedürfnis besitzenden Wiesengräser und Kräuter, welchen später die düngende Wirkung zugute kommt, irgendwie zu schädigen.

Auf eine eigenartige Wirkung der Rohsalze, genauer, ebenfalls der Chloride der Rohsalze, ist noch hinzuweisen: die starke Mobilisierung des Kalks im Boden unter dem Einfluß des Chlors. Der Kalk geht mit dem Chlor sehr leicht eine Verbindung ein, Chlorcalcium, und dieses ist außerordentlich leicht löslich, so daß es sehr schnell von dem Regen usw. ausgewaschen wird und mithin der Kalk aus der Ackerkrume verschwindet. Man kann rechnen, daß 1 dz Rohsalz dem Boden 0,75—1 dz Kalk auf diese Weise entzieht, so daß starke Kalidüngung in der Praxis, wenn der Erfolg ein voller sein soll, auch starke Kalkung verlangt, und umgekehrt.

Der hohe Natrongehalt der Rohsalze wird besonders gut von den verschiedenen Hackfrüchten, mit Ausnahme der Kartoffel, also von Wruken, Runkelrüben, Zuckerrüben usw. verwertet, desgleichen von der Gerste. Man gibt also bei diesen Pflanzen, die gleichzeitig gegen die Chloride weniger empfindlich sind, auch auf schwereren Böden den Rohsalzen zur Kalidüngung den Vorzug.

Digitized by Google

Will man die Kalidüngung zu chlorempfindlichen Gewächsen, wie Kartoffeln usw., kurz vor der Saat (immerhin auch nicht gar zu kurz, wenigstens nicht weniger als 14 Tage vorher!) anwenden, handelt es sich um Düngung schwerer, ohnehin zur Nässe neigender Böden, um weite schlechte Wege und sonstige Umstände, die ein geringes Volumen und Gewicht eines Düngemittels bei hoher Wirksamkeit, selbst bei höherem Preise als besonders wünschenswert erscheinen lassen, dann wird zur Kalidüngung die Wahl nicht auf die Roh-, sondern auf die konzentrierten Salze fallen.

Die nur industriellen Zwecken dienenden Produkte interessieren uns hier nicht. Für die Landwirtschaft des Inlandes kommt in steigendem Maße als konzentriertes Kalidüngemittel das 40prozentige Kalidüngesalz in Frage, das überhaupt ins Ausland nicht geliefert wird, sondern ein Vorzugsprodukt für den deutschen Landwirt darstellt.

Des weiteren sind 30prozentiges und 20prozentiges Kalidüngesalz zu nennen, schwefelsaure Kalimagnesia und schwefelsaures und Chlorkalium in verschiedenen Reinheitsgraden, welch letztere Produkte ganz besonders zur Ausfuhr nach warmen Klimaten und auf weite Entfernungen wegen ihres hohen Gehalts an wirksamer Substanz und damit verbundener Frachtersparnis, sowie geringer Neigung zum Feuchtwerden, geeignet sind.

Als spezielles Tabaksdüngemittel, von welchem freilich wohl mehr Lärm gemacht ist, als seinem wirklichen Wert entspricht, ist noch der Martellin zu nennen.

Was die von den einzelnen kalihaltigen Düngemitteln anzuwendenden Mengen anbetrifft, so sind diese natürlich je nach der Art des Bodens, der Pflanze, und nicht zuletzt des Düngemittels selbst sehr verschieden, so daß sich Rezepte dafür nicht aufstellen lassen. Einen Anhalt gibt der oben erläuterte Verbrauch der einzelnen Kulturpflanzen an Kali für eine Jahresernte, welcher einfach auf den Prozentgehalt des zu verwendenden Düngemittels umzurechnen ist, unter Berücksichtigung eines Zuschlags von 15—30% für Auswaschung durch Regen usw.

Digitized by Google

c) Phosphorsäurehaltige Düngemittel.

Abgesehen von Niederungsmoorböden, welche zuweilen einen überraschend hohen Gehalt an Phosphorsäure aufzuweisen haben, ist durchweg der Gehalt der Böden an diesem Pflanzennährstoff, wie auch oben schon auseinandergesetzt, ein keineswegs bedeutender. Dafür ist er aber als gleichmäßiger als der Kaligehalt zu bezeichnen. Günstiger als alle anderen Nährstoffe steht die Phosphorsäure im Boden insofern da, als sie der Auswaschung durch die Regenwasser, also dem nutzlosen Verlorengehen, infolge der äußerst geringen Löslichkeit im Wasser, die ihr in Form des zwei- und dreibasischen phosphorsauren Kalks zukommt, sehr wenig ausgesetzt ist. Praktisch ist dreibasisch phosphorsaurer Kalk sogar ganz unlöslich im Wasser, so daß für seine Ausnutzung nur Säuren des Bodens und aktive Tätigkeit der Pflanzenwurzeln in Betracht kommt. Zweibasisch phosphorsaurer Kalk ist etwas löslicher, dürfte aber namentlich bei Kalkreichtum des Bodens so gut wie gar nicht vorhanden sein. Letzteres gilt erst recht von dem leicht wasserlöslichen einbasisch-phosphorsauren Kalk.

Die gleiche Abstufung: von Löslichkeit nur in Säuren und durch Wurzeltätigkeit der Pflanzen über eine mittlere Löslichkeit bis zur Leichtlöslichkeit in Wasser finden wir auch unter den im Handel befindlichen phosphorsauren Düngemitteln.

Zur Gruppe der in Wasser gänzlich unlöslichen phosphorsauren Verbindungen gehören die in letzter Zeit in größerer Zahl auf dem Düngermarkt erscheinenden Rohphosphate, wie das Agrikulturphosphat. Es sind dies einfach Gesteinsmehle, zu staubförmiger Feinheit zerkleinerte Mineralien. Ein gewisses Mißtrauen gegen die Wirkung dieser Düngemittel, die ja die Phosphorsäure nur in der Form enthalten, wie sie ohnehin im Boden schon vorkommt, ist jedenfalls berechtigt. Ist doch festgestellt, daß z. B. bei Versuchen mit staubfein gepulvertem Material von 1000 Teilen Phosphorsäure nur 16 Teile im günstigsten Fall zur Aufnahme gelangten. Auf die Verhältnisse der Praxis darf dieses Resultat

Digitized by Google

ohne weiteres allerdings wohl kaum übertragen werden, da hier Bodensäure, natürliche Wurzelentwicklung, Bakterientätigkeit usw. die Ausnutzungsgrenze heraufrücken müssen. Besonders günstig wird unter normalen Verhältnissen der Erfolg einer Düngung mit Rohphosphaten kaum jemals sein. Nur auf sauren Moorböden sind gute Resultate erzielt.

Der wichtigste Vertreter der mittellöslichen Phosphate, denen für die landwirtschaftliche Praxis sehr hohe Bedeutung zukommt, da die Pflanzenwurzel, wenn sie die Phosphorsäure auch nicht in Lösung findet, sie sich doch sehr leicht und schnell durch eigene Tätigkeit anzuzeigen vermag, ist die Thomasschlacke.

Der Name stammt von dem Engländer Thomas, der im Jahre 1879 ein Verfahren erfand, um den im rohen Eisen häufig vorkommenden Phosphor, der schädlich auf die Güte des Gusses wirkt, zu entfernen. Das Prinzip ist die Einwirkung von Kalk und Luft auf Roheisen bei sehr hoher Temperatur. Der Phosphor verwandelt sich dabei in Phosphorsäure, welche mit anderen Nebenbestandteilen des rohen Eisens und mit dem Kalk eine Schlacke bildet: Thomasschlacke, die fein gemahlen als Düngemittel in den Handel kommt und mit bestem Erfolg zur Phosphorsäuredüngung verwandt wird.

„In der Thomasschlacke ist die Phosphorsäure nicht nur mit Kalk, sondern noch mit einem dritten Stoff, mit der Kieselsäure, zu einer chemischen Verbindung vereinigt. Dieser phosphorkieselsaure Kalk löst sich nicht in Wasser, wohl aber vermögen die in den Wurzeln der Pflanzen enthaltenen Säuren und organischen Salze einen großen Teil der Phosphorsäure zu lösen und nutzbar aufzunehmen." (Stutzer.) Es hat sich für diese Form der Phosphorsäurebindung von der vereinbarten Untersuchungsmethode her der Name Citratlösliche Phosphorsäure eingebürgert, und wird ein bestimmter Gehalt an citratlöslicher Phosphorsäure von den Fabriken im Handel garantiert, meist 17—18%.

Nicht verschwiegen darf bleiben, daß gerade mit diesen Abfallphosphorsäuredüngern, trotz eifriger Bestrebungen der

Digitized by Google

maßgebenden Handelskreise zur Besserung mitunter auch ein schwungvoller Schwindel getrieben wird, indem ganz wertlose Schlacke, oft mit nur 1% Phosphorsäure und natürlich entsprechend fehlender Wirkung, den leichtgläubigen Landwirten verkauft wird.

Ein verwandtes Produkt stellt das Woltersphosphat dar, welches durch Zusammenschmelzen von 100 Teilen Rohphosphat mit 70 Teilen schwefelsaurem Natrium oder schwefelsaurem Kalium, 20 Teilen kohlensaurem Kalk, 22 Teilen Sand und 6—7 Teilen Kohle gewonnen wird. Es scheint in seiner Wirkung zwischen dem Thomasmehl und den wasserlösliche Phosphorsäure enthaltenden Düngemitteln, den Superphosphaten, die Mitte zu halten, doch bedarf es wohl zur gänzlichen Klärung der Frage seiner Bewertung noch mancher Versuche. Der Gehalt an löslicher Phosphorsäure schwankt zwischen 14—17%.

Die Superphosphate sind Veredelungsprodukte der Rohphosphate. Durch Beimischung berechneter Schwefelsäuremengen werden je einem Teil dreibasisch phosphorsaurem Kalk 2 Teile Kalk entzogen, so daß ein Gemisch von Gips, d. i. schwefelsaurem Kalk und leicht löslichem einbasisch phosphorsaurem Kalk resultiert. Die Menge der auf diese Weise wasserlöslich gewordenen Phosphorsäure schwankt zwischen 6—18%, bei guter Ware 12—18%, je nach der Zusammensetzung der verwendeten Rohphosphate.

Abbauwürdige Phosphate finden sich in den verschiedensten Teilen der Erde. Besonders bekannt sind die Ciply- und Lüttich-Phosphate aus Belgien, das Sommephosphat aus Nordfrankreich, die Phosphate von Algier, besonders auch die von Florida und den Christmasinseln. In neuester Zeit sind erfreulicherweise ausgedehnte, sehr reiche und hochwertige Phosphatlager auf deutschen Südseeinseln erschlossen, z. B. auf Naüru, so daß auf diese Weise Deutschland vielleicht von der Einfuhr fremder Phosphate sich unabhängig machen kann.

Die Ausführung der Düngung mit Phosphaten, besonders die Wahl des einzelnen Düngemittels hat sich nächst Berück-

Digitized by Google

sichtigung der Preisverhältnisse ganz nach dem Boden zu richten. Es bedarf kaum einer besonderen Betonung, daß auf schweren, untätigen Böden keine schwerlöslichen Phosphate gehören, also keine Rohphosphate, auch Thomasmehl und andere citratlöslichen Phosphate erst in zweiter Linie, sondern daß das Gegenteil, die Verwendung leichtlöslicher Superphosphate auf schweren (und kalkhaltigen!) Böden, von Thomasmehl und verwandten Produkten mit citratlöslicher Phosphorsäure auf leichtem, tätigem Boden, der seinerseits bei der Löslichmachung der Phosphate durch seine Mikroorganismenflora hilft, das Richtige ist. Zu berücksichtigen ist stets auch der Kalkgehalt des Bodens, da bei geringem Kalkgehalt auch auf schwerem Boden die Verwendung stark kalkhaltiger Phosphate, wie Thomasmehl, selbst um den Preis eventuell geringerer Phosphorsäureausnutzung angezeigt sein kann.

Da Schädigungen von Keimpflanzen usw. durch Phosphate nicht zu befürchten sind, da andererseits Verluste an Phosphorsäure durch Versickern nicht eintreten, oder wenigstens nicht in einem praktisch in Rechnung zu ziehenden Maße, da alle Pflanzen ebensogut wie Kalk und Kali auch Phosphorsäure brauchen, die namentlich eine günstige Wirkung auf schnelle Reife und Lagerfestigkeit ausübt, so ist man in der Anwendung zeitlich gar nicht beschränkt, ein angenehmer Umstand, der zur verhältnismäßig schnellen Ausbreitung der Phosphatdüngung in der landwirtschaftlichen Praxis sicherlich nicht wenig beigetragen hat. Leider wird nur manchmal vom Landmann das Grundgesetz aller Pflanzenernährung vergessen, daß einseitige Ernährung nichts nützt: daß auch die Phosphorsäure nur dann ihre völlige Wirkung entfalten kann, wenn gleichzeitig alle anderen Nährstoffe in genügender Menge im Boden vorhanden sind.

Die Stärke der Düngung hat sich ganz nach den wirtschaftlichen Einzelverhältnissen zu richten (s. o.). Oft ist auch starke Vorratsdüngung von Vorteil.

Digitized by Google

V. Schluß.

Der Düngemittelhandel hat sich nicht begnügt, die Nährstoffe einzeln auf den Markt zu bringen. Dem Wunsche der Landwirte nach möglichster Arbeitsersparnis im eigenen Betriebe nachgebend, hat er die verschiedensten Mischdünger für die verschiedensten Zwecke hergestellt, soweit die Natur sie nicht überhaupt bot, wie z. B. im Peruguano. Ob dies als ein Fortschritt zu betrachten ist, steht dahin. Wieder und immer wieder ist die Verschiedenartigkeit der Böden, die Verschiedenartigkeit der Ansprüche der einzelnen Pflanzen betont, die sorgsamste Beachtung erheischt, wenn die Wirtschaftsweise auf den Ehrentitel „rationell" Anspruch erheben will. Mit der Betonung dieser großen Verschiedenartigkeit des Düngebedarfs jedes einzelnen Feldes ist aber auch gleich das Urteil über die Zulässigkeit einer Schablone, wie sie ein fertiger Mischdünger unter allen Umständen ist, gefällt. Mag hin und wieder die Zusammenstellung der einzelnen Nährstoffe in einem solchen Mischdünger zufällig die für den Fall gerade passende sein, in der Mehrzahl der Fälle trifft dieses sicher nicht zu, selbst wenn man in der Beurteilung, welche Abweichungen zulässig sind und welche nicht, so weitherzig ist, wie möglich.

Das Richtige ist entschieden, wenn sich jeder Landwirt auf Grund seiner Versuche in der eigenen Wirtschaft, auf eigenem Grund und Boden selbst die Nährstoffe zusammenstellt, selbst die Düngemischungen macht, mag auch etwas mehr Arbeit damit verbunden sein.

Um das zu können, ist es allerdings erforderlich, daß sich der Landwirt über das Wesen der Pflanzenernährung klar ist, im allgemeinen und im Einzelfalle. Und auch so ist der Begriff noch nicht weit genug gesteckt.

Eine Düngung mit irgend einem Pflanzennährstoff bedeutet ja nicht nur eine Anreicherung des Bodens an eben diesen Stoffen. Sie bedeutet die Einleitung einer Unzahl der verschiedensten chemischen Reaktionen, eine Störung des

Digitized by Google

labilen chemischen und wohl auch biologischen Gleichgewichts des Bodens, die sicherlich auch praktisch nicht ohne Bedeutung sein wird, wenn wir auch heute in gemäßigten Klimaten die zahllosen sich verwirrenden Fäden noch kaum in ihren Anfängen zu erkennen, geschweige zu überblicken vermögen. Ich sage: noch nicht in gemäßigten Klimaten. In heißen Zonen mit ihrem gesteigerten Ablauf aller chemischen Vorgänge in der Natur ist man auf diesen Umstand bereits aufmerksam gemacht und hat insofern hier gegenüber der Heimat schon einen Fortschritt zu verzeichnen, wenngleich sich sonst die tropische Bodenkunde und Pflanzenernährungslehre noch durchaus in den Kinderschuhen befindet.

Erst wenn alle Zonen der Erde mit ihren wechselnden klimatischen Bedingungen bezüglich der Wirkung dieser Faktoren auf Boden und Pflanze, speziell den Lebenschemismus der Gewächse, erforscht sein werden, erst dann werden wir von einer wirklichen Bodenkunde, einer Kenntnis des Bodens im allgemeinen reden können, während bis dahin unser Wissen nur ein Stückwerk von räumlich eng begrenzter Richtigkeit bedeutet, ganz besonders bei den behandelten mineralischen Nährstoffen der Pflanzen.

Digitized by Google

Sachregister.

A.

Agrikulturphosphat 123.
Aluminiums, Rolle des 45.
Anhydrit 10.
Apatit 10.
Arbeitsleistung d. Pfl. 67.
Asche der Pflanzen, Rolle der 7ff. 28.
Asche der Pflanzen, Bestandteile der 24ff.
Assimilatorischer Effekt 67.
Augit 10.

B.

Bewegungen der Pflanzen 4.
Bodenabsorption 15.
Bodens, Definition des 8ff.
Bodenkapital 15.
Bodenlösung 16.
Bodenuntersuchung 99.
— Wert der 100ff.
Brache 96.
Brom, Rolle des 56.

C.

Calciumgehalt 41, 42.
Calciums, Rolle des 40, 43.
Calciumoxalat 44.
Chlor 10.
Chlorgehalt 53.
Chlors, Rolle des 54ff.
Citratlöslichkeit der Phosphate 124.

D.

Deuterogene Gesteine 12.
Dolomit 10.
Dünger, natürlicher 105.
— — Wert des 104.
— künstliche 105.
Düngung, Begriff der 89ff.
Düngebedürfnis der Pflanzen 96.
— der Böden 98.
Düngungsversuch 104.
Durchschnittsanalysen 103.

E.

Eisengehalt 34, 36.
Eisen, Rolle des 33, 35ff.
Erdrinde, Zusammensetzung der 10ff.
Ersatztheorie 93.
Eruptivgesteine 11.

F.

Feldspat 10.
Fluor 10.
— Rolle des 56.
Flußspat 10.
Frostes, Sprengwirkung des 13.

G.

Galmeipflanzen 83.
Gesamtaschengehalt 31, 32.
Gips 10.
Gletscherwirkung 13.
Glimmer 10.

H.

Hornblende 10.
Hungerpflanzen 74.

I.

Infusorien 3.
Jod, Rolle des 56.

K.

Kalidünger 117.
Kalidüngung 121ff.
Kaligehalt des Bodens 116.
Kalilager und Salze 118ff.
Kaliumgehalt 47, 48, 78.
Kaliums, Rolle des 46, 48, 76.
Kalkdüngemittel 113.
Kalkdüngung, Anwendung der 115.
— Wert der 110ff.
— Wirkung der 112.

Digitized by Google

X 922

Kalkes, formgebende Rolle des 77.
Kalkfeindlichkeit 80.
Kalk im Boden 110.
Kalkpflanzen 78.
Kalkspat 10.
Kieselsäure, Art des Vorkommens im Boden 10.
Kohlensäure 10.
Kristallinische Schiefer 11.

L.

Leucit 10.
Lithiums, Rolle des 45.

M.

Magnesiumgehalt 38, 39.
Magnesium, Rolle des 37.
Metalle der Asche 32.
Metalloide der Asche 52.
Mineraltheorie 26.
Minimum der Asche 72.
Minimums, Gesetz des 71.
Mischdünger 127.
Moorbildung 87.
Mykorhiza 85.

N.

Nährlösungen 29.
Nährstoffbilanz 91.
Nährstoffentnahme der Kulturpflanzen 94.
Natriumgehalt 49.
Natriums, Rolle des 50, 81.
Natürliche Dünger 105.
Notwendige Nährstoffe 30.
Nützliche Nährstoffe 31.

O.

Osmose 21.

P.

Pflanzenseele 5.
Phosphate 123.
Phosphor, Gehalt an 61.
— Rolle des 60, 76.
Phosphorsäuregehalt d. Bodens 123.
Phosphorsäuredüngung 125.
Phosphorsäure, Vorkommen der 10.
Primitive Gesteine 11.

R.

Rohphosphate 123.

S.

Salzpflanzen 81 ff.
Schwefel, Gehalt an 59.
Schwefelmetalle 10.
Schwefels, Rolle des 57.
Schwefelsäure, Vorkommen der 10.
Serpentinpflanzen 83.
Silicium, Gehalt an 63.
Siliciums, Rolle des 62.
Sinnesorgane der Pflanzen 5.
Stallmist 105.
Statische Methode 103.
Stoffaufnahme der Pflanze 16, 17.
Superphosphat 125.

T.

Thomasschlacke 124.
Ton 10.
Transpiration 23.
Trennung von Tier und Pflanze 3.
Tropismen 65.
Turgor 22.

V.

Vertretung der Aschenbestandteile 69 ff.
Verwitterung 12 ff.
Volumenänderung der Gesteine 13.

W.

Wahlvermögen der Pflanzen 64.
Wasser als Verwitterungsfaktor 13 ff.
Wasserkultur 28.
Wassers, Verteilung des 17.
Wechsel der Temperatur 12.
Wesenseinheit von Tier und Pflanze 5 ff.
Woltersphosphat 125.
Wurzelausscheidungen 20.
Wurzeldruck 22.
Wurzelhaare 19.
Wurzeloberfläche 19.
Wurzel, Rolle der 18 ff.

Z.

Zeolithe 10.
Zusammensetzung der Flora 84.

Digitized by Google